

No. 31, 2002

nucleus

ISBN 0864-084X

Publicación semestral

Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada en Cuba

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

En éste número:

**- La radioinducción de mutaciones
en plantas y sus beneficios
para la agricultura**

SUMARIO

PANORAMA NUCLEAR

La radioinducción de mutaciones en las plantas y sus beneficios para la agricultura

Luis Manuel González Núñez, Ramiro Ramírez Fernández 4

CIENCIAS NUCLEARES

Mejoramiento de la cuantificación relativa del flujo sanguíneo cerebral con la tecnología médico-nuclear disponible en el país

C.A. Sánchez Catasús, O. Díaz Rizo, M. Rodríguez Castillo, R. Rodríguez Rojas, A. Águila Ruiz 9

Estimación de las dosis que recibe la población cubana debido a la incorporación de radionúclidos por ingestión de alimentos

J. Tomás Zerquera, M. Prendes Alonso, I.M. Fernández Gómez, D. Pérez Sánchez, G. Rodríguez Castro, N. Martínez Ricardo, O. Brígido Flores 19

Diseño e interpretación de los experimentos de medición de secciones eficaces de remoción

L. F. Desdín García, L. García Fernández 23

Caracterización radiactiva de los suelos y productos agrícolas de la región centro-sur de Cuba

R.Y. Sibello Hernández, C. M. Alonso Hernández, M. Díaz Asencio, H. Cartas Águila. 28

Evaluación de las dosis que recibe la población de la Ciudad de La Habana por el radio 226 que incorpora con las aguas de consumo

J. Tomás Zerquera, M. Prendes Alonso, I. Ma. Fernández Gómez, N. Martínez Ricardo .. 35

AMBITO REGULATORIO

Metodología para la aplicación del análisis probabilistas de seguridad a las unidades de cobaltoterapia en Cuba

Juan José Vilaragut Llanes, Rubén Ferro Fernández, Mayra Troncoso Fleitas, Bertha Lozano Lima, Andrés de la Fuente Puch, Yolanda Pérez Reyes, Cruz Duménigo González 40

Control de calidad al servicio de radiología diagnóstica en policlínicos y hospitales de Santiago de Cuba

Reinaldo Griñán Torres, Héctor Parra Caboberde, Lino A. Semanat Sánchez 44

Recomendaciones a los autores 48

CONSEJO EDITORIAL

Doctor en Ciencias Físicas Luis Felipe Desdín García, Ing. Rubén Ferro Fernández, Doctor en Ciencias Biológicas Omar García Lima, Doctor en Ciencias Químicas José Morín Zorrilla, Master en Ciencias Físico- Matemáticas Manuel Fernández Rondón.

Director: Manuel Fernández Rondón / **Editor Jefe:** Jorge Alvarado Cartaya / **Redactor Técnico:** Marta Contreras Izquierdo / **Edición:** Dulce María García Medina / **Diseño:** Marietta Fernández Martín / **Composición:** Magaly Cruz Jorge / **Fotografía:** Pablo Massip Ginestá / **Traducción:** Lázaro O'Farrill Lazo / **Referencias:** Katia González Sánchez / **Fotomecánica:** Alain Ciérvides Sánchez / **Producción:** Adolfo Estévez González, Ricardo Gavilla Moreno / **Encuadernación:** María Cristina Herrera Rosell / **Canje:** Iraidá Oviedo Rivero.

SUMMARY

NUCLEAR OUTLOOK

- Radioinduction of mutation in plants and its benefits for agriculture**
Luis Manuel González Núñez, Ramiro Ramírez Fernández 4

NUCLEAR SCIENCES

- Improvement of the relative quantification of the cerebral blood flow with the available nuclear medicine technology in the country**
C.A. Sánchez Catasús, O. Díaz Rizo, M. Rodríguez Castillo, R. Rodríguez Rojas, A. Águila Ruiz 9
- Estimation of the dosis that the cuban population receives owing to radionuclide incorporation through ingestion of foods**
J. Tomás Zerquera, M. Prendes Alonso, I.M. Fernández Gómez, D. Pérez Sánchez, G. Rodríguez Castro, N. Martínez Ricardo, O. Brígido Flores 19
- Design and interpretation of the experiments of measurements of effective removal sections**
L. F. Desdín García, L. García Fernández 23
- Radioactive characterization of lands and agricultural products of the center-south region of Cuba**
R.Y. Sibello Hernández, C. M. Alonso Hernández, M. Díaz Asencio, H. Cartas Águila. 28
- Evaluation of the radium 226 doses incorporated with the consumption waters, which is receive by the city of Havana inhabitants**
J. Tomás Zerquera, M. Prendes Alonso, I. Ma. Fernández Gómez, N. Martínez Ricardo .. 35

REGULATORY FRAMEWORK

- Methodology for the application of the probabilistic safety analysis to the cobaltotherapy units in Cuba**
Juan José Vilaragut Llanes, Rubén Ferro Fernández, Mayra Troncoso Fleitas, Bertha Lozano Lima, Andrés de la Fuente Puch, Yolanda Pérez Reyes, Cruz Duménigo González 40
- Quality control to the service of diagnostic radiology in policlinics and hospitals of Santiago de Cuba**
Reinaldo Griñán Torres, Héctor Parra Caboberde, Lino A. Semanat Sánchez 44
- Information for authors 48**

Revista arbitrada. Referenciada en la Base de Datos INIS.

Publicación semestral de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, CITMA.

Edición e Impresión: Cubaenergía / Calle 20 No. 4111 e/18A y 47, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba CP 11300 / Apartado Postal 6317 y 6318 / Tel.: (537)2027527 / Fax: (537)204 1188 / c.e.: comercial@cubaenergia.inf.cu

Inscripta como impreso periódico. Registro Nacional de Publicaciones Seriadas No. 0061. Inscripta en la Dirección de Correos y Telégrafos con el No. 94021/184.

LA RADIOINDUCCIÓN DE MUTACIONES EN LAS PLANTAS Y SUS BENEFICIOS PARA LA AGRICULTURA

Luis Manuel González Núñez, Ramiro Ramírez Fernández
Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov", Granma, Cuba

Palabras clave: agriculture, radioactivity, plant breeding, plant growth, productivity, radiation induced mutants

INTRODUCCIÓN

La radioinducción de mutaciones es una técnica basada en la acción mutagénica de las radiaciones ionizantes al interactuar con el genoma de los seres vivos, que permite incrementar las tasas de mutación natural entre 10-100 veces, facilitando las posibilidades de selección [1]. Se considera de gran utilidad en el mejoramiento genético de las especies vegetales, pues permite obtener variedades promisorias en numerosos cultivos de interés económico; con la ventaja de acortar los períodos de selección y aportar nuevos genes que no están restringidos a la constitución genética de los progenitores [2, 3] y que su explotación en condiciones de producción proporcionan ganancias anuales que se miden en billones de dólares [3].

En Cuba, esta técnica se ha ido introduciendo paulatinamente en los programas de mejora, con resultados importantes y en algunos cultivos como el arroz representa una de las vías principales para incrementar la variabilidad genética [4-6].

DESARROLLO DE LA TÉCNICA DE RADIOINDUCCIÓN DE MUTACIONES

La idea de provocar mutaciones artificiales y emplearlas con fines mejoradores la planteó en 1901 Hugo de Vries. Durante una conferencia celebrada en Cold Spring Harbor en 1904, este investigador propuso el empleo de los rayos X, descubiertos hacía sólo 9 años por W. Conrad Roentgen. Sin embargo, no es hasta mediados de los años 20, que se confirma uno de los fenómenos más relevantes de la radiobiología: la acción mutagénica de las radiaciones ionizantes [7, 8].

Los primeros investigadores que trabajaron en esta dirección fueron Koltsov y sus colaboradores Nadson y Filipov, entre los años 1920-1925. Durante ese tiempo aparecieron publicados los

primeros trabajos de estos científicos acerca de la aparición de nuevas y estables razas de levadura por la acción de las radiaciones. En estos experimentos se demostró por primera vez la aparición de mutaciones, no obstante la genética de la levadura en aquel tiempo era poco trabajada, y los autores no pudieron demostrar el incremento de la frecuencia mutacional [9,10].

Experimentos más precisos y generalizadores sobre la influencia de los rayos X en la producción de mutaciones los realizó en 1927 Muller en *Drosophila*, quien aportó pruebas concluyentes sobre la aparición de mutaciones por acción de las radiaciones ionizantes, lo cual brindó por primera vez a la biología la posibilidad experimental de influir sobre la herencia genética [8].

En este período se confirmó también esta capacidad en las plantas. Stadler en 1928 [11,12] presentó mutantes obtenidos en cebada y maíz, y Goodspeed en 1929 [13] en tabaco; pero la primera mutación obtenida con fines prácticos en tabaco fue informada por Tollenar en 1934 [8].

A pesar de que el uso de las mutaciones inducidas es en principio simple, se ha demorado la aplicación de esta técnica con efectividad. En la actualidad, se considera una técnica útil para el mejoramiento de diferentes cultivos, como los cereales, gramíneas forrajeras, plantas oleaginosas, hortícolas, frutales, ornamentales y medicinales [1-3,14].

BENEFICIOS DE LA RADIOINDUCCIÓN DE MUTACIONES EN EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LOS CULTIVOS

La producción de alimentos vegetales se basa en la existencia de variedades desarrolladas gracias a los mejoradores de plantas. Los objetivos de la mejora genética se resumen en desarrollar variedades de cultivos, introduciendo nuevos genes favorables que mejoren el rendimiento del cultivo. Las radiaciones ionizantes son un

instrumento valioso en el mejoramiento genético de las especies vegetales, ya que permiten mediante la inducción de mutaciones crear variabilidad genética que no existe en la naturaleza o que existe, pero no está al alcance del mejorador [15, 16].

Las mutaciones inducidas se pueden utilizar en el mejoramiento de las plantas de forma muy variada, en dependencia de la forma de reproducción de la planta y el tipo de mutación producida.

La radioinducción de mutaciones se ha aplicado frecuentemente en las plantas de reproducción sexual y dentro de éstas en las especies autógamas por la rapidez con que se puede utilizar en la práctica el progreso obtenido. De manera bien definida se han establecido dos fases en la utilización de la radiomutagénesis para la mejora vegetal: la utilización directa y la indirecta [16, 17].

La utilización directa comprende la inducción de variabilidad donde la mejora genética se basa en un doble proceso: el incremento de la variabilidad genética y la posterior selección de los genotipos más idóneos. Esta vía es muy valiosa cuando se desea mejorar una o dos características fácilmente identificables en una variedad que esté bien adaptada al medio, porque el genotipo básico de la variedad está sólo parcialmente alterado, en contraste con la hibridación entre dos variedades distintas, en las que sí se produce intercambio genético y el tiempo necesario para lograr el mismo resultado es mayor [14].

El uso directo de la variabilidad genética por radioinducción de mutaciones no está limitado a los cambios fácilmente identificables de una o dos características (macromutaciones), sino que también se extiende a otros cambios menos visibles, detectados mediante análisis biométricos (micromutaciones). Por otra parte se ha establecido un tercer tipo de mutación, la criptomutación, la cual no es fenotípicamente detectable y ocurre como un fenómeno poblacional, que se acumula y manifiesta con el tiempo en una dirección orientada por la presión del ambiente [8].

El uso de las mutaciones inducidas en programas de cruzamiento es probablemente tan importante como el uso directo de las mutaciones. Las variedades mutantes introducidas en la producción o conservadas en los bancos de germoplasma, se pueden usar como material de partida en programas de mejoramiento, a fin de conseguir nuevas mejoras por recombinaciones de caracteres útiles y de esta manera el efecto de las radiaciones es continuo [16].

Si dos mutantes de una misma variedad donante homocigótica que difieren solamente con respecto a dos genes mutantes se cruzan, serán necesarias

unas pocas plantas para el estudio de las generaciones siguientes, debido a la similitud de sus genotipos. Por otra parte la incorporación de un carácter deseable en una variedad resulta más fácil a partir de un mutante encontrado en una variedad comercial, que a partir de una especie silvestre o de una variedad no adaptada o de menores valores agronómicos [14].

La obtención de nuevas variedades de plantas, directamente o a través de cruzamientos empleando radiomutantes como progenitores, no es el único aporte de la radiomutagénesis al mejoramiento vegetal. Las mutaciones inducidas han desempeñado un papel primordial en el establecimiento de los fundamentos de la genética molecular, también en la comprensión de la acción y la interacción de los genes, en su organización en los cromosomas vegetales, en la función evolutiva de la duplicación del gen y los bloques genéticos, en el funcionamiento de la herencia citoplasmática y la dinámica genética de las poblaciones [17, 18].

Un beneficio especial del uso de las mutaciones inducidas es que ciertos tipos poco frecuentes, necesarios para las investigaciones, pueden obtenerse en corto tiempo, y como los mutantes pueden diferir muy poco del genotipo de origen son muy adecuados como material de experimentación para los fitofisiólogos y fitobioquímicos interesados en comprender y controlar complejos procesos como la fotosíntesis, la absorción y el transporte de nutrientes, el metabolismo orgánico y la tolerancia al estrés [8, 14].

En sentido general, la radioinducción de mutaciones se considera una técnica útil porque brinda, entre otros beneficios, la variación genética en caracteres cualitativos y cuantitativos deseables, cuya fuente sea poco frecuente o difícil de aprovechar con los métodos tradicionales. Esto en términos agronómicos se traduce en una mayor ampliación del número de cultivares disponibles para el agricultor [14].

LA RADIOINDUCCIÓN DE MUTACIONES APLICADA A LA AGRICULTURA, UNA TÉCNICA SOCIALMENTE RECONOCIDA

El Organismo Internacional de Energía Atómica [2, 3] reporta más de 1800 variedades de plantas obtenidas con el empleo de esta técnica, cuyo uso en producción, aporta ganancias que se calculan en billones de dólares. Por ejemplo, en arroz se informan más de 251 variedades, en trigo más de 126, en soya más de 50 y en plantas ornamentales más de 409. Esto demuestra los beneficios que ha brindado la técnica de radioinducción de mutaciones a la agricultura en la obtención de nuevos cultivares.

La variedad mutante de arroz Nucleus-Ryza, constituye un buen ejemplo, pues gracias a ella

fue posible cultivar arroz con rendimientos económicos en las zonas más septentrionales del mundo, por su resistencia al frío, a las plagas y enfermedades [10]. En Hungría [19, 20] y en China [21] se han informado avances notables en la mejora genética de la soya por mutaciones. En este último país, la obtención de la variedad Heinong-35 con alto potencial de rendimiento y proteína ha revolucionado el cultivo.

En Tailandia, la mejora genética por mutaciones en el cultivo de la caña de azúcar ha permitido obtener nuevas variedades con resistencia a enfermedades y al encharcamiento, que permiten explotar suelos bajos e incrementar los rendimientos [22].

En Brasil se han obtenido resultados importantes con el uso de las mutaciones inducidas en trigo, mediante la obtención de las variedades IAC-17 e IAC-18 y en soya con la variedad IAC-8, con mayor precocidad, resistencia a enfermedades y mayor rendimiento [26-29]. En Perú se han logrado variedades mejoradas de frijol con mayores potenciales de fijación biológica de nitrógeno y alto rendimiento [23]. En México, se han obtenido variedades de aguacate de menor altura, que facilita la recolección de la cosecha [24]; así como variedades mejoradas de Quinoa, con mayor rendimiento y contenido de proteína [25].

Esto permite considerar la radioinducción de mutaciones como muy positiva en la solución de los problemas alimentarios de la humanidad y consolida el reconocimiento social que ha alcanzado esta técnica por el valor y los beneficios de su aplicación.

PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS EN CUBA CON EL USO DE LA RADIOINDUCCIÓN DE MUTACIONES

Los primeros resultados obtenidos en Cuba con la aplicación de la radioinducción de mutaciones en la mejora genética datan de la década de los 70 del pasado siglo [26, 27], pero no es hasta los años 80 que se comienzan a desarrollar programas más serios, avalados por estudios básicos de radiobiología, que incluyeron como punto de partida, el establecimiento de una tabla cubana de radiosensibilidad, con las dosis más adecuadas que se deben emplear en las principales especies y variedades de plantas cultivadas en el país [28].

A continuación se mencionan los programas más avanzados hasta la fecha.

Arroz (Oryza sativa L.)

En este cultivo se han desarrollado dos programas de mejora, uno a partir de la variedad

J-104, con la participación del Instituto de Investigaciones del Arroz y el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, para obtener variedades con granos de alta calidad industrial y buenas características agronómicas. En tal sentido la variedad IACUBA-28 ya se generaliza en diferentes zonas del país [5, 29]. El otro programa se desarrolló con el objetivo de incrementar la variabilidad genética con tolerancia a la salinidad a partir de la variedad J-112, con la participación de investigadores del Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov" y el Instituto de Investigaciones Fundamentales en la Agricultura Tropical (INIFAT), del cual se obtuvieron los radiomutantes RM-12 y RM-41, que se introducen en algunas áreas afectadas por sales en la provincia Granma [30].

Caña de azúcar (Saccharum sp.)

Entre los más importantes programas están los desarrollados por el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, en el que se sistematizó el estudio de la radiosensibilidad de la especie y se establecieron los aspectos metodológicos básicos para la aplicación de la radiomutagénesis en la agricultura cañera. A partir de la variedad C236-51, que había sido eliminada de la polftica varietal por su susceptibilidad al virus del mosaico de la caña de azúcar (VMCA), se obtuvieron cinco radiomutantes con alta resistencia y que mantienen las buenas características agronómicas del progenitor [31].

Frijol (Phaseolus vulgaris L.)

En frijol se han desarrollado dos programas de mejora por investigadores del INIFAT, uno dirigido a incrementar la variabilidad genética con resistencia a las principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo, con la variedad ICA PIJAO, del cual se obtuvieron las líneas INIFAT RM-158 e INIFAT RM-147 de hábito de crecimiento II, resistentes a bacteriosis y roya, y la primera, además, al virus mosaico dorado. Ambas líneas rinden alrededor de 2 t/ha. El otro programa a partir de la variedad BAT-93 desarrollado por la misma institución se dirigió al cambio de su color amarillo de muy poca aceptación popular. Se obtuvo una línea INIFAT RM 93-1 de color blanco y rendimiento potencial de 1,5 t/ha y que supera a la variedad progenitora en resistencia a la roya y a la bacteriosis [32].

Ajo (Allium sativum)

Este programa desarrollado por el INIFAT a partir del clon criollo permitió la obtención de dos clones INIFAT RM-2 e INIFAT RM-6, tolerantes a *Alternaria porri*, *Pyronochaeta terrestris* y a la bacteria *Xanthomona campestris*. Presentan además una

excelente conservación pos cosecha en condiciones ambientales de almacenamiento [33].

Trigo (*Triticum aestivum*)

En este cultivo con el propósito de incrementar la escasa variabilidad genética existente en el país, el INIFAT desarrolló un programa a partir de la variedad Cuba-C-204, del cual se han obtenido un grupo de líneas con buenas características morfológicas y agronómicas, dos de las cuales han mostrado una excelente adaptabilidad y se introducen en diferentes zonas de la provincia de Sancti Spiritus [34].

Boniato (*Ipomoea batatas L.*)

Se realizaron dos programas por parte del INIFAT, uno con el clon canel para acortar su ciclo sin alterar sus buenas características agronómicas y otro a partir del clon CENSA 85/48 para eliminar las ranuras del tubérculo que limita su comercialización. Del primero se obtuvo el clon INIFAT RMB-2, que se encuentra en fase de validación con algunos productores en la provincia de La Habana; mientras que del segundo se obtuvieron tres líneas que han mejorado la forma del tubérculo, pero aún se estudian sus características agronómicas [35].

Existen otros programas en fase de desarrollo como los que ejecutan en piña el Centro de Bioplantas de Ciego de Ávila [36], en plátano y ñame el Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales de Villa Clara [37] y en tomate y arroz el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas [38], que continuarán aportando materiales mejorados, cuya introducción se revertirá en una mayor producción de alimentos en beneficio de nuestra agricultura y de la población.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MICKE, A., Mejoramiento genético de leguminosas de grano por mutaciones. En: Aumento de la fijación biológica de nitrógeno en el frijol común en América Latina, J.J. Peña-Cabrales y F. Zapata, eds. (1999)91-96.
- [2] IAEA, Mutation Breeding Newsletter, 41 (1994)23-30.
- [3] MALUSZYNSKI, M., NICTERLEIN, K. VAN ZAUTEN, L. y AHLOWALIA, B.S., Mutation Breeding Review, 12 (2000)32 pp.
- [4] GONZÁLEZ, L.M., RAMÍREZ, R. y PÉREZ TALAVERA, S., Nucleus, 24 (1998)6-11.
- [5] SUÁREZ, E. y otros, Genetic improvement of rice (*Oryza sativa L.*) by induced mutations, Proceedings of the Third International Symposium on Nuclear and Related Techniques, disco compacto.
- [6] GONZÁLEZ, M.C., CRISTO, E. y FUENTES, J.L., Irradiation with protons in order to obtain new rice varieties, Proceedings of the Third International Symposium on Nuclear and Related Techniques, disco compacto.
- [7] JAWAROSKI, Z., Australian Physical & Engineering Sciences in Medicine, 20(3) (1997)32-38.
- [8] YANKULOV, M.T., La radioinducción de mutaciones y su aplicación práctica en el mejoramiento genético, Conferencia mimeografiada. IIA "Jorge Dimitrov"(1989)1-20.
- [9] MICKE, A., Gamma Field Symposium, 30 (1994)1-21.
- [10] MULLER, J., Science, 66(1927)84-87.
- [11] STADLER, L.J., Science, 68 (1928)186-192.
- [12] STADLER, L.J., Science, 69 (1928)215-222.
- [13] GOODSPEED, T.H., Heredity, 20 (1929)243-259.
- [14] GONZÁLEZ, L.M., Tesis doctoral, IIA "Jorge Dimitrov", Bayamo, Cuba (1996)100 pp.
- [15] KUDRIASHOV, U.V. y BERENFELD, B.F., Base de la biofísica radiacional (en ruso), Izdatelstvo Moskovskovo Universiteta, Moscú (1982)300 pp.
- [16] RUBLO, A. y otros, The potential role of biotechnology and induced mutations in plant breeding, Proceedings of the Third International Symposium on Nuclear and Related Techniques, disco compacto.
- [17] PÉREZ TALAVERA, S., Radiobiología Agrícola (Libro en imprenta), Editorial Academia, La Habana, Cuba, 142 pp.
- [18] EUN, M.Y., y otros, Induced mutations for identifying and characterizing genes in rice. I. Three useful mutants and their characteristics. In: Rice Genetics, Los Baños, Laguna (1991)788-792.
- [19] HAJOS-NOVAK, M. y KOROSI, F., Acta Agronómica Hungárica, 49(1) (2001)95-98.
- [20] HAJOS-NOVAK, M. y KOROSI, F., Cereal Research Communications, 29(1-2) (2001)217-220.
- [21] WANG, L. y LICHENG, H., Scientia Agricola Sinica, 28(1995)38-45.
- [22] MAJID, M.A. y otros, Development of sugarcane mutants with resistance to red rot, waterlogging and delayed or non flowering through induced mutations. In: In vitro Techniques for selection of radiation induced mutants of radiation induced mutations. IAEA TECDOC, 1227(2001)31-44.
- [23] MANRIQUE, A., MANRIQUE, K. y NAKAHODO, J., Rendimiento y fijación biológica de nitrógeno en frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) en el Perú. En: Aumento de la fijación biológica del nitrógeno en el frijol común en América Latina J.J. Peña-Cabrales y F. Zapata, eds., IAEA, IMPROSA, México (1999)97-102.
- [24] DE LA CRUZ, E. y otros, Evaluación de productividad y calidad de fruta en aguacate Hass sometido a radiación gamma, Proceedings of the Second International Symposium on Nuclear and Related Techniques, disco compacto.
- [25] DE LA CRUZ, E. y otros, Evaluation of Quinoa lines obtained through mutagenesis and conventional methods, Proceedings of the Third International Symposium on Nuclear and Related Techniques, disco compacto.
- [26] LABRADA, A. y PÉREZ TALAVERA, S., Nucleus, 11(1991)33-35.
- [27] MACHADO, H., Tesis doctoral, Universidad de La Habana (1975)205 pp.
- [28] PÉREZ TALAVERA, S., Tesis doctoral, INIFAT, La Habana (1993)234 pp.
- [29] DEUS, J. y otros, Use of induced mutations in rice breeding in Cuba, Proceedings of International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment, La Habana, 1997, disco compacto.
- [30] GONZÁLEZ, L.M. e IGLESIAS, L., Nucleus, 25(1998)18-23.
- [31] GUERRA, M., y otros, of radioinduced mutations in sugarcane breeding in Cuba, Proceedings of International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment, La Habana (1997)45-46.
- [32] DÍAZ, M. A. y otros, Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) por métodos convencionales y nucleares, Proceedings of International Symposium on Nuclear and Related

Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment, La Habana (1997)34-38.

[33] PÉREZ TALAVERA, S., SAVIN, V.N. y LABRADA, A. Nucleus, 10 (1991)16-20.

[34] PÉREZ TALAVERA, S. y otros, Obtención de nuevas variedades de trigo por mutaciones inducidas, Proceedings of International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment, La Habana (1997)31-33.

[35] PÉREZ TALAVERA, S., Mejoramiento genético por mutaciones en *Ipomea batata L.*, Proceedings of International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment, La Habana, 1999, disco compacto.

[36] BENEGA, R.y otros, Nucleus, 24(1998)12-14.

[37] VENTURA, J. y otros, Proceedings of International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment, La Habana, 1999, disco compacto.

[38] GONZÁLEZ, M.C. y otros, Use of nuclear and biotechnological methods to improve drought tolerance in rice and tomato crops, Proceedings of International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment. La Habana, 2001, disco compacto.

MEJORAMIENTO DE LA CUANTIFICACIÓN RELATIVA DEL FLUJO SANGUÍNEO CEREBRAL CON LA TECNOLOGÍA MÉDICO-NUCLEAR DISPONIBLE EN EL PAÍS

C.A. Sánchez Catasús¹, O. Díaz Rizo², M. Rodríguez Castillo¹, R. Rodríguez Rojas¹, A. Aguila Ruiz¹

¹Centro Internacional de Restauración Neurológica, Ciudad de La Habana, Cuba

²Instituto de Ciencias y Tecnologías Nucleares, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

Este trabajo aborda la cuantificación relativa del flujo sanguíneo cerebral, mediante la tomografía por emisión de fotones y cómo mejorarla con la tecnología existente en nuestro país, a través de la resolución espacial tomográfica, y generalizando el método de cuantificación relativa que utiliza al cerebelo como región de referencia, considerada la mejor región para el proceso de normalización de las imágenes de la tomografía por emisión de fotones. Con este fin, se desarrolló y validó un método no-estándar de adquisición de imágenes que logra una mejoría de la resolución espacial tomográfica de un 18%, la cual es significativa para aquellos sistemas de tomografía por emisión de fotones que no pueden ser modernizados con los más recientes avances tecnológicos. Además, se desarrolló y validó un método de cuantificación basado en un hecho fisiológico encontrado por nuestro grupo no reportado anteriormente. A partir de este hallazgo se define un nuevo valor de referencia, el pseudocerebelo, que permite generalizar al cerebelo como región de referencia, aplicable incluso a pacientes con hipoperfusión cerebelosa excepto cuando también existe hipoperfusión en la corteza visual, lo cual es mucho menos frecuente en la práctica neurológica.

IMPROVEMENT OF THE RELATIVE QUANTIFICATION OF THE CEREBRAL BLOOD FLOW WITH THE AVAILABLE NUCLEAR MEDICINE TECHNOLOGY IN THE COUNTRY

Abstract

Relative quantification of cerebral blood flow by single photon emission computed tomography is analyzed and how to improve it with the technology available in our country. There are two way to enhance that quantification: improving the tomographic spatial resolution and generalizing the quantification method which use the cerebello as reference region, considered the best region for the image normalization process. For that aim, a non-standard images acquisition method was developed achieving an spatial resolution improvement of 18%, which is significant for that single photon emission computed tomography system that can not be updated with the more recent technological advances. Also, a new quantification method was developed based on a physiological fact found by our group. Using this fact a new reference value is defined, the pseudocerebello, which allows generalizing the cerebello as a reference region, applicable to any patient except to those with concurrent hypoperfusion on the cerebello and the visual cortex, which are less frequent in the clinical practice.

Palabras clave: nuclear medicine, quality control, single photon emission computed tomography, gamma radiatiation blood flow, imaging, nervous system diases, patients, cobalt 60, radioisotope scanning

INTRODUCCIÓN

La cuantificación del flujo sanguíneo cerebral (FSC) mediante la tomografía por emisión de fotones (SPECT, del inglés *single photon emission computed tomography*) se realiza en unidades absolutas (volumen/unidad de tiempo) o en unidades relativas [1]. La cuantificación absoluta es la ideal pero está limitada por la influencia de diferentes problemas físicos que afectan la exactitud de la SPECT: resolución espacial, atenuación y dispersión de la radiación gamma, y efecto del volumen parcial [1- 7].

De estos, los que más afectan la cuantificación, tanto absoluta como relativa, son los asociados a la resolución espacial [5]. Los demás problemas influyen en el contraste de las imágenes, afectado por un cierto nivel de ruido aleatorio [3-7]. Aunque existen soluciones para estos problemas, en la actualidad se considera que las mismas no son totalmente satisfactorias, especialmente la radiación dispersada y el efecto del volumen parcial [7]. La cuantificación absoluta también depende de la biocinética del radiofármaco empleado [8, 9]. Esta última limita aún más la cuantificación debido a las exigencias de los

modelos matemáticos aplicables a la biocinética [10-12].

Por otra parte, la cuantificación relativa se basa en la normalización de las imágenes con una región cerebral de referencia, y permite obtener una medida relativa del FSC que es en parte insensible a los problemas mencionados, con excepción de la resolución espacial [5]. Esto explica por qué en la mayoría de los laboratorios éste sea el procedimiento más utilizado. Estudios previos han encontrado una buena correlación entre la cuantificación relativa y la absoluta [13, 14].

Investigaciones anteriores demuestran que el cerebelo (CER) es la región de referencia más apropiada para la cuantificación relativa [15, 16]. Sin embargo, el cerebelo no se puede utilizar como valor de referencia en los pacientes con disminución del flujo sanguíneo en dicha región, ya que se obtendrían valores sobrestimados. En estos casos se recomienda emplear como región alternativa la corteza visual (CV) [17-20] o un promedio de todas las regiones cerebrales [21-24]. Además de que estos dos valores de referencia son menos apropiados, tiene el inconveniente de que es imposible comparar cuantitativamente a estos pacientes con aquellos que fueron normalizados utilizando el cerebelo.

En la investigación nos propusimos desarrollar y validar dos métodos para mejorar la cuantificación relativa del FSC con la tecnología médico-nuclear disponible en el país. El primero permite el mejoramiento de la resolución espacial tomográfica. El segundo permite generalizar al cerebelo como región de referencia, aplicable incluso en pacientes con afección de dicha región.

MATERIAL Y MÉTODO

Método para el mejoramiento de la resolución espacial tomográfica (Método 1)

La resolución espacial tomográfica empeora al crecer la distancia fuente-detector o radio de rotación (r_{rot}) [3-5]. En la SPECT cerebral los hombros del paciente impiden acercarse al mínimo el detector sin excluir al cerebelo del campo de visión, cuando paralelamente se intenta tener un ancho de pixel de adquisición que cumpla con el criterio de muestreo lineal y que mantenga la relación señal/ruido (S/R) tomográfica en un nivel aceptable. En el anexo A se describe una solución a este problema a partir de un método no-estándar de adquisición de imágenes [25].

La validación del método propuesto se basó en un estudio comparativo con el método estándar disponible en nuestro sistema para el estudio del cerebro (zoom = 1,25 y r_{rot} medio de 22 cm). Para realizar esta comparación se calcularon en ambos métodos, las magnitudes: ancho de pixel,

FWHM_{bidimensional}, FWHM_{tomográfico}, contraste y relación señal/ruido (S/R) tomográficas [26]. El FWHM_{bidimensional} y el FWHM_{tomográfico} se calcularon a partir de la obtención experimental de las PSF bidimensional y tomográfica, respectivamente, a partir de una fuente lineal de actividad, que permite calcular el contraste y la S/R tomográfica. También se calculó la MTF tomográfica para ambos métodos.

La comparación de los resultados de los dos métodos se realizó utilizando una t de Student para muestras pareadas. Se adoptó $p < 0,05$ como criterio de significación estadística.

Se realizaron estudios de SPECT empleando fantasmas. Esto permitió evaluar los cambios del contraste tomográfico para las lesiones de diferentes tamaños (fantoma de Jaszczak) y estudiar el efecto sobre la S/R tomográfica en condiciones similares a las de la práctica clínica al aplicar el método no-estándar (fantoma de cerebro). Los estudios con el fantoma de cerebro permitieron también comparar visualmente ambos procedimientos.

La cámara gamma utilizada es un sistema semidigital de una cabeza detectora circular fabricada en 1987 (*Siemens-Gammasonics*) e instalada en el Centro Internacional de Restauración Neurológica, la cual está acoplada a una estación de adquisición y procesamiento de imágenes basada en una computadora personal [27]. Esta cámara gamma es similar a la mayoría de las instaladas en el resto del país.

Método que permite generalizar al cerebelo como valor de referencia (Método 2)

La cuantificación relativa se basa en calcular un índice de perfusión relativa (IP), que se define como:

$$IP(x, y, z) (\%) = a^N(x, y, z)_{x_n, y_n, z_n} \times 100$$

donde $a(x, y, z)$ es la distribución tridimensional de actividad del radiofármaco dentro del cerebro estimada mediante SPECT; y $a^N(x, y, z)_{x_n, y_n, z_n}$ es $a(x, y, z)$ normalizada con el valor que toma la función en el punto x_n, y_n, z_n .

Para determinar si la perfusión es anormal en un paciente, se contrasta su IP con el IP medio de una base de datos que represente la normalidad, a través del cálculo de un z-score. Para tener una relación S/R aceptable, tanto el IP como el z-score se evalúan para regiones de interés (ROI, del inglés *region of interest*) cuadradas de 3x3 pixeles como mínimo y no para pixeles o puntos x, y, z individuales.

En el anexo B se describe un método de cuantificación relativa que define un valor de referencia equivalente a CER, el pseudocerebelo (PCER), pero con la ventaja de que no depende del status de su flujo sanguíneo [28, 29].

Para la validación clínica del método se verificó estadísticamente la constancia del cociente CV/CER en un grupo de 60 estudios de SPECT, 20 de ellos pertenecientes a sujetos normales y 40 a pacientes neurológicos con SPECT positivo pero sin un compromiso patológico de CV y CER. A continuación, para comprobar que IP_{PCER} / IP_{CER} se calculó el valor medio de las diferencias absolutas $<|IP_{CER} - IP_{PCER}|>$ en dos grupos de exámenes de SPECT correspondientes a individuos sin compromiso de CV y CER: 10 sujetos normales (GI) y 40 pacientes (GII).

Asimismo, para probar que IP_{PCER} es un procedimiento válido para evaluar la perfusión relativa en pacientes con afección cerebelosa, y cuantitativamente comparable a utilizar CER, el método fue aplicado en un tercer grupo (GIII) de estudios de SPECT pertenecientes a 30 pacientes con hipoperfusión cerebelosa bilateral. Todos los pacientes tuvieron déficit de la perfusión en ambos hemisferios cerebelosos pero con perfusión normal en CV. Además, no tenían signos clínicos que revelaran un compromiso patológico de CV en el momento en que se les practicó el estudio de SPECT.

Debido a que en GIII no es aplicable CER no se pudieron comparar directamente IP_{PCER} e IP_{CER} por lo que se siguió un procedimiento indirecto para demostrar la validez de IP_{PCER} . Este procedimiento se aplicó a una ROI (ROI 1, corte 1, ver Fig. 3-a) representativa de un estudio de SPECT; de tal forma que los grupos GI y GIII, originalmente compuestos por los estudios completos de SPECT, correspondientes a los pacientes, fueron redesignados como GII_{ROI} y $GIII_{ROI}$.

El procedimiento consistió, en primer lugar, en reordenar los grupos GII_{ROI} y $GIII_{ROI}$ en dos subgrupos de ROI organizados de acuerdo con el resultado del z-score asociado a IP_{CV} (IP_{CV} es aplicable en GI y en GIII). El primer subgrupo de GII_{ROI} se formó con las ROI cuyo z-score fue menor que dos ($GII_{ROI (Z < 2)}$), es decir ROI con perfusión normal, mientras que el segundo subgrupo se formó con las ROI cuyo z-core fue mayor que dos y menor que cuatro ($GII_{ROI (2 < Z < 4)}$), es decir, ROI con perfusión moderadamente disminuida. Análogamente se formaron los subgrupos $GIII_{ROI (Z < 2)}$ y $GIII_{ROI (2 < Z < 4)}$. De esta forma los subgrupos $GII_{ROI (Z < 2)}$ y $GIII_{ROI (Z < 2)}$ y $GII_{ROI (2 < Z < 4)}$ y $GIII_{ROI (2 < Z < 4)}$ son estadísticamente equivalentes con respecto al valor de IP_{CV} . El segundo paso consistió en comparar $|IP_{CER} - IP_{CV}|$ obtenida en $GII_{ROI (Z < 2)}$ con $|IP_{PCER} - IP_{CV}|$ obtenida en $GIII_{ROI (Z < 2)}$.

Esta comparación se realizó utilizando un test de Student para muestras no pareadas. Similar comparación se realizó entre $GII_{ROI (2 < Z < 4)}$ y $GIII_{ROI$

($2 < Z < 4$)

Este procedimiento de validación fue aplicado a una sola ROI considerando que todas las ROI de un estudio de SPECT son equivalentes con respecto al análisis realizado, evitando así cálculos excesivos innecesarios.

En los análisis realizados se adoptó como criterio de significación estadística $p < 0,05$. El análisis visual de las imágenes se realizó en todos los casos mediante consenso de dos observadores entrenados.

Para obtener las imágenes de SPECT, a cada individuo se le inyectó una dosis de 740 MBq de [99m Tc]-HMPAO en una vena antecubital. Este radiofármaco se distribuye en el cerebro de manera proporcional al FSC [8]. En la adquisición de las imágenes se empleó el método no-estándar (método 1). Se obtuvieron un total de ocho cortes paralelos al plano definido por el polo frontal y el polo occipital. Para calcular IP_{CER} , IP_{PCER} e IP_{CV} , se trazaron 53 pares de ROI bilaterales (izquierda-derecha) cuadradas de 3x3 píxeles, tanto corticales como subcorticales, en seis cortes consecutivos (dos píxeles de grosor) en cada estudio de SPECT (ver Fig. 3-a). Se trazaron ROI similares en CV y en ambos hemisferios cerebelosos. PCER se definió como el promedio de cuentas por pixel en CV dividido por $<f>$, el cual se derivó de los 20 sujetos normales utilizados para demostrar la constancia del parámetro f ($<f> = 1,0437$).

RESULTADOS

Método 1

En la tabla 1 se presentan los resultados para los anchos de pixel, $FWHM_{bidimensional}$, $FWHM_{tomográfico}$, contraste tomográfico y S/R tomográfica/pixel para cada método de adquisición de imágenes, así como el porcentaje de cambio relativo (PC).

En la Fig. 1 se aprecia cómo la MTF del método no-estándar tiene una caída más lenta en los rangos de las frecuencias medias y altas. Los resultados de la tabla 2 evidencian cómo el método propuesto recupera más contraste.

En la Fig. 2 se muestran los resultados con el fantoma de cerebro. Se aprecia que la imagen en la figura 2-b presenta una mejor definición espacial y más contraste que la imagen que aparece en la figura 2-a, cuando se comparan con el *gold standard* visual (imagen bidimensional del fantoma de cerebro en la figura 2-c). El discreto empeoramiento de la S/R tomográfica que produce el método no-estándar se mantiene aproximadamente igual al valor obtenido para la fuente lineal (tabla 3).

Método 2

El valor medio de f para el grupo total fue

Tabla 1. Anchos de pixel, $FWHM_{bidimensional}$, $FWHM_{tomográfico}$, contraste tomográfico y S/R tomográfica/pixel para cada método de adquisición de imágenes

Magnitud	No-estándar	Estándar	PC (%)	Significación estadística
Ancho de pixel (mm)	4,98 ± 0,05	5,26 ± 0,06	-5,3	P < 0,05
$FWHM_{bidimensional}$ (mm)	13,09 ± 0,23	16,03 ± 0,18	-18,3	P < 0,05
$FWHM_{tomográfico}$ (mm)	15,98 ± 0,30	19,53 ± 0,36	-18,1	P < 0,05
Contraste tomográfico (%)	22 ± 2,1	17 ± 1,8	29,4	P < 0,05
S/R tomográfica/pixel	43,3 ± 1,2	44,8 ± 1,4	-3,3	no significativo

Tabla 2. Contraste tomográfico (%) para distintos tamaños de lesión (fantoma de Jaszczak)

Diámetro de la esfera	No-estándar	Estándar	PC (%)
15 mm	23	17	29
20 mm	35	27	30
25 mm	51	39	31
30 mm	65	46	41
35 mm	71	50	42

Tabla 3. S/R tomográfica por pixel y por ROI cuadrada de 3x3 píxeles en una región representativa de la corteza cerebral, a partir del estudio con el fantoma de cerebro en condiciones similares a las de la práctica clínica (figura 3)

S/R tomográfica	No-estándar	Estándar	PC (%)
1 Pixel	3,9	4	-2,5
ROI 3x3 píxeles	20,3	20,9	-2,9

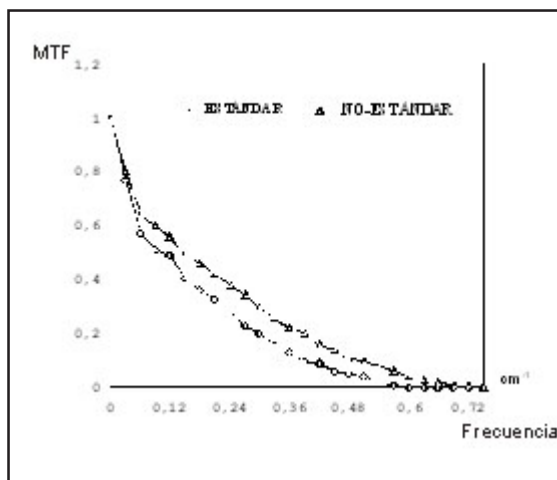


Figura 1. MTF tomográficas para cada método de adquisición de imágenes.

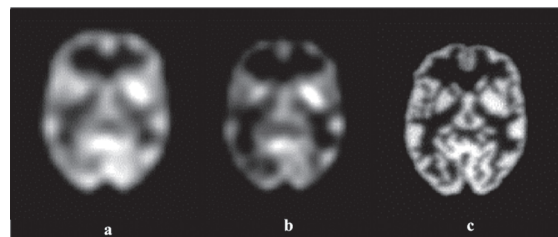


Figura 2. Imágenes del fantoma de cerebro para la comparación visual: (a) corte transaxial para el método estándar; (b) corte transaxial para el método no-estándar; y (c) imagen bidimensional utilizada como *gold standard* visual.

1,0440 ± 0,0288, con un coeficiente de variación (cv) de 2,76%. Para el subgrupo de mujeres normales fue 1,0449 ± 0,0266 (cv = 2,54 %) para el subgrupo de hombres normales fue 1,0481 ± 0,0298 (cv = 2,84 %) para el subgrupo de mujeres pacientes fue 1,0406 ± 0,0298 (cv = 2,86 %) y para el subgrupo de hombres pacientes fue 1,0481 ± 0,0298 (cv = 2,84 %). Al comparar estos subgrupos mediante ANOVA no se encontraron diferencias significativas. La ecuación de regresión obtenida fue:

$f = -0,00006 \times \text{edad} + 1,0456$ ($r = -0,04$). De acuerdo con esta ecuación de regresión f es aproximadamente constante con la edad con un nivel de confianza del 95%.

El valor medio de las diferencias absolutas $\langle |IP_{CER} - IP_{PCER}| \rangle$ fue de 1,22% ± 0,35% y 1,20% ± 0,42%, para GI y GII, respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre GI y GII con respecto a $|IP_{CER} - IP_{PCER}|$. La Fig. 3 muestra las imágenes y los gráficos de IP_{CER} , IP_{PCER} e IP_{CV} para un sujeto normal del sexo masculino de 56 años perteneciente a GI.

El valor medio de las diferencias absolutas $\langle |IP_{CER} - IP_{CV}| \rangle$ fue de 4,24% ± 0,51% y 4,13% ± 0,54% GII_{ROI (Z<2)} (24 ROI) y GII_{ROI (2<Z<4)} (16 ROI), respectivamente, mientras que $\langle |IP_{PCER} - IP_{CV}| \rangle$ fue de 4,21% ± 0,47% y 4,15% ± 0,50% para GIII_{ROI (Z<2)} (15 ROI) y GIII_{ROI (2<Z<4)} (12 ROI), respectivamente.

No se observaron diferencias significativas al comparar GII_{Z<2} y GIII_{Z<2}. Igual resultado se obtuvo al comparar GII_{2<Z<4} y GIII_{2<Z<4}. La figura 4 muestra las imágenes y los gráficos para IP_{CER} , IP_{PCER} e IP_{CV} en un paciente perteneciente a GIII (paciente de 53 años de edad con una ataxia de Friedreich). Obsérvense los valores sobrestimados de IP_{CER} y los valores corregidos de IP_{PCER} .

DISCUSIÓN

Método 1

El método desarrollado logra una mejoría significativa de la resolución espacial con un 18% de cambio (3,5 mm) con relación al método estándar disponible.

Como resultado de esta mejoría se recupera también más contraste. Los resultados se deben a que se ha podido acercar el detector 6 cm hacia el

encéfalo del paciente, lo cual es imposible con el método estándar ya que los hombros del paciente constituyen un obstáculo para mantener el cerebelo dentro del campo de visión.

El ancho de pixel alcanzado con el método no-estándar es equivalente al que se obtendría con un formato de matriz de 64x64 pixeles con un factor de zoom teórico de 1,32, pero con la diferencia de que el campo de visión del detector sería reducido por la aplicación del zoom. El procedimiento desarrollado logra este ancho de pixel modificando artificialmente a un nivel no-estándar la resolución digital de los conversores análogo-digitales de la interfase cámara-computadora.

Los resultados de la tabla 2 evidencian cómo mejora el contraste tomográfico a medida que aumenta el tamaño de las lesiones que simula el fantoma de Jaszczak. Nótese cómo el nuevo método recupera más contraste para cada tamaño de lesión y cómo el porcentaje de cambio crece bruscamente a partir de la lesión de 30 mm (límite superior del efecto del volumen parcial para el método no-estándar). Esto se debe a la mejoría de la resolución espacial tomográfica.

Los resultados de los estudios con el fantoma de cerebro también confirman la mejoría alcanzada. Además, el discreto empeoramiento de la S/R tomográfica se mantiene aproximadamente igual al utilizar el método no-estándar en condiciones similares a la práctica clínica (tabla 3), lo cual no compromete la S/R tomográfica para una ROI cuadrada de 3x3 pixeles (se considera aceptable una S/R tomográfica alrededor de 20).

Una solución alternativa, equivalente al método propuesto y aparentemente más simple, es utilizar una matriz de adquisición de 128x128 pixeles, con lo que se tendría suficiente muestreo lineal y un campo de visión y un ruido aceptable después del filtrado de las imágenes. Esto no es recomendable desde el punto de vista clínico, puesto que otros aspectos del estudio se incrementarían por un factor de cuatro [25]. Otros autores han reportado mejorías significativas de la resolución espacial como consecuencia también de la reducción del r_{tot} , no muy superiores a la alcanzada con el método no-estándar, pero a partir de soluciones más complejas [30-34].

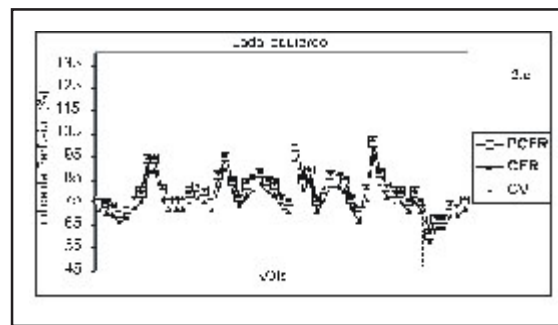
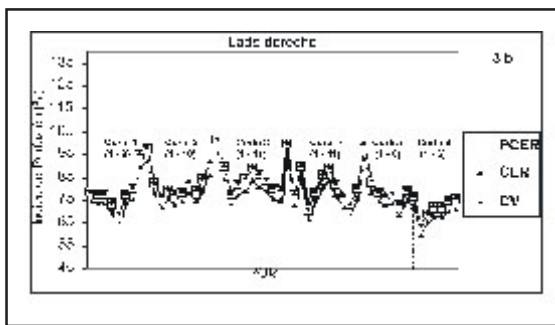
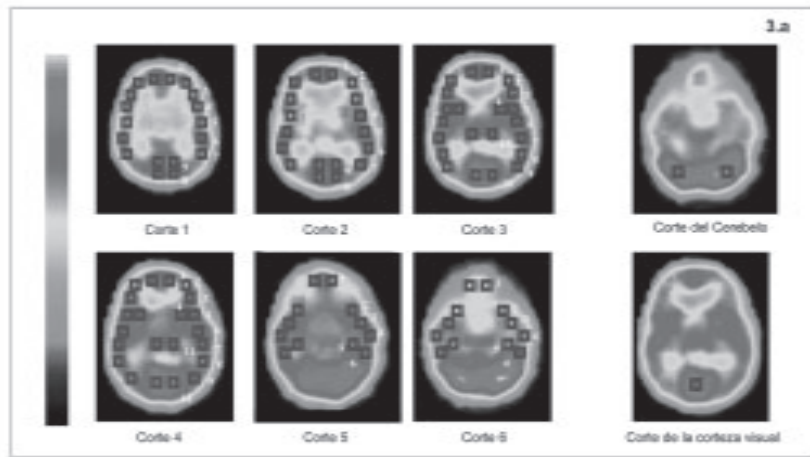


Figura 3. (a) Imágenes de SPECT con ^{99m}Tc -HMPAO de un sujeto normal de 58 años de edad (grupo GI). Gráficos de IPP_{CER} y IPP_{CV} (b-lado derecho, c-lado izquierdo).

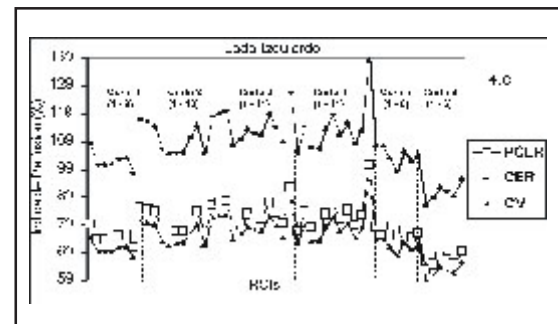
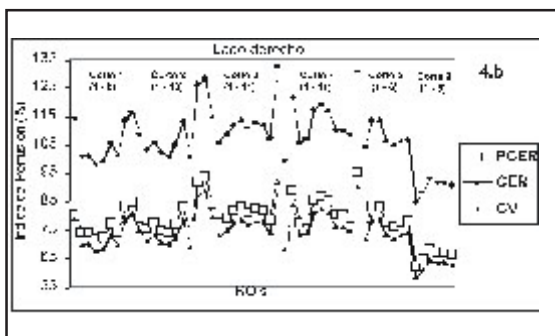
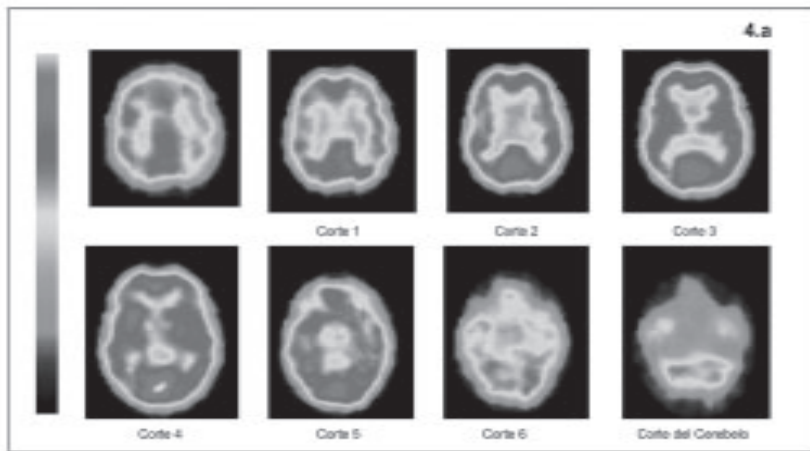


Figura 4. (a) Imágenes de SPECT con ^{99m}Tc -HMPAO de un paciente de 53 años de edad con una ataxia de Friedreich (grupo GIII). Gráficos de IPP_{CER} , IPP_{CER} y IPP_{CV} (b-lado derecho, c-lado izquierdo).

Método 2

El método de cuantificación propuesto normaliza las cuentas de cada ROI con lo que hemos denominado el pseudocerebelo. Este procedimiento es solamente válido si el parámetro f tiene pequeñas variaciones en individuos sin un compromiso patológico en CV y CER, lo cual es la base fisiológica en la que descansa el método. Los resultados obtenidos demuestran que f es aproximadamente constante y que no depende ni del sexo ni de la edad. Estos resultados coinciden con varias investigaciones publicadas previamente que abordan el problema de los cambios de la perfusión cerebral con el sexo y con el envejecimiento normal [35-39].

También es importante el que f tenga pequeñas variaciones y un valor medio muy similar al observado en individuos normales, en pacientes neurológicos con SPECT positiva pero sin compromiso de la perfusión en CV y CER (GII), ya que explica por qué el método del pseudocerebelo, conociendo el número de cuentas en CV, puede hacer un modelo del número de cuentas en CER (cuentas en PCER). Además, esta es la razón por la cual es posible utilizar un valor medio del parámetro f que no depende del paciente en estudio.

Las diferencias medias absolutas obtenidas de 1,22% y 1,20% para GI y GII, respectivamente, constituyen una prueba de validez de IP_{PCER} , puesto que estos valores son inferiores a la replicabilidad de la SPECT con $[^{99m}Tc]$ -HMPAO de acuerdo con lo reportado por Deustsch y colaboradores [40]. En esa investigación se reporta una diferencia media absoluta de 2,8% (0- 7,8%) entre dos estudios realizados a un mismo individuo, separados 48 horas.

Debido a que en GIII no es aplicable CER, la validez de PCER no se puede demostrar siguiendo el mismo procedimiento para GI y GII. Es una prueba indirecta de validez de IP_{PCER} en GIII, y que es cuantitativamente comparable a utilizar CER como valor de referencia, el hecho demostrado de que $<|IP_{CER} - IP_{CV}|>$ y $<|IP_{PCER} - IP_{CV}|>$ no son estadísticamente diferentes en las parejas de subgrupos de ROI con igual IP_{CV} .

Considerando la definición estricta de pseudocerebelo, es de esperar que IP_{PCER} tenga los mismos valores de sensibilidad y especificidad que IP_{CV} , si se compararan ambos con la mejor referencia IP_{CER} . Esto significa que si se utilizara IP_{PCER} en todos los casos, incluso cuando la perfusión en CER fuera normal, se perderían las ventajas intrínsecas de CER como valor de referencia con relación a CV. De aquí que el método de cuantificación relativa que generaliza a CER se deba formular de la forma:

$$IP_{CER} = \begin{cases} IP_{CER} & \text{para CER normal} \\ IP_{PCER} & \text{para } f > \langle f \rangle \text{ y CV normal} \end{cases}$$

La principal limitación del método está asociada a la generalización de su base fisiológica. Es posible que un pequeño porcentaje de individuos, similares a los seleccionados en este trabajo, tenga un cociente (cuentas en VC/ cuentas en CER) fuera del nivel normal derivado de una base de sujetos sanos.

Lossner y colaboradores, utilizando fluorodeoxiglucosa (FDG) PET, reportaron una reducción sustancial en la actividad metabólica cerebelosa en algunos individuos pertenecientes a una muestra de 120 sujetos sanos [39]. Este hallazgo aún permanece sin explicación. Además, estos autores encontraron una asimetría de ligera a moderada en la corteza calcarina en un pequeño número de casos, sin ninguna evidencia clínica de defecto visual.

Aunque en el trabajo no se obtuvieron resultados de este tipo, se deben discutir sus consecuencias potenciales para el procedimiento propuesto. Existe la posibilidad de incluir en la base de datos normales un sujeto con una gran desviación del parámetro f .

Una vía para evitar el efecto estadístico de este hecho es utilizar una base de datos suficientemente grande o excluir este tipo de sujeto después de verificar que su parámetro f está fuera del nivel normal de una base de datos con poca variación estadística de este parámetro. Además, los individuos normales deben estudiarse utilizando las mismas condiciones de reposo psicofísico, parámetros de adquisición y procesamiento de las imágenes, con el fin de minimizar las variaciones de f relacionadas con la metodología de SPECT utilizada.

CONCLUSIONES

El método no-estándar de adquisición de imágenes introducido mejora la resolución espacial tomográfica en un 18% (3,5 mm), lo cual constituye una mejoría significativa para un sistema SPECT basado en una cámara gamma estándar de un solo cabezal circular.

Se encontró un hecho no reportado anteriormente, el cual indica que el cociente (cuentas en CV/cuentas en CER) tiene muy pequeñas variaciones inter-individuos en sujetos donde estas estructuras no están afectadas. Basados en este hecho, se introduce el método del pseudocerebelo que permite generalizar al cerebelo como región de referencia, aplicable a cualquier paciente, incluyendo aquellos casos con hipoperfusión cerebelosa, con la única condición de que la perfusión en la corteza visual debe ser normal. El método es sólo inaplicable en los pacientes con

hipoperfusión combinada en la corteza visual y el cerebelo, los cuales son mucho menos frecuentes en la práctica neurológica.

Los métodos desarrollados permiten el mejoramiento de la cuantificación relativa del flujo sanguíneo cerebral con la tecnología médico-nuclear disponible en nuestro país, sin la necesidad de complejas y costosas implementaciones de hardware.

Anexo A. Método para el mejoramiento de la resolución espacial tomográfica (Método 1)

La interfase análogo-digital cámara-computadora permite digitalizar las imágenes en un formato estándar de 256x256 pixeles. Si se utiliza este formato de matriz con factor de zoom =1 y se excluye la última fila y la última columna, es posible conformar una matriz de 85x85 elementos equivalentes a submatrices de 3x3 pixeles, o superpixeles, de la matriz original. Este formato de 85x85 pixeles agranda por un factor de tres el ancho del pixel original y modifica artificialmente a un nivel no-estándar la resolución digital de los conversores análogo-digitales de la interfase.

Lo anterior define una transformación de la matriz de 255x255 pixeles que se puede formular matemáticamente de la siguiente forma:

Sea A una matriz de 255x255 elementos $a_{i,j}$. Se define entonces la transformación T para la matriz A de la forma:

$$T(A) = A'$$

donde los elementos de la matriz A' son:

$$a'_{k,l} = \sum_{i=3k}^{3k+2} \sum_{j=3l}^{3l+2} a_{i,j}$$

$$(k,l= 0,\dots, 84 \text{ e } i,j=0,\dots,254)$$

Con este formato de matriz no-estándar es posible adquirir imágenes con un ancho de pixel teóricamente equivalente al que se obtendría con un formato de matriz estándar de 64x64 pixeles con un factor de zoom entre 1,25 y 1,5, pero con la diferencia de que no se reduce el campo de visión del detector, puesto que el factor de zoom del hardware sigue siendo igual a uno. Por tanto, debe ser posible mantener el r_{rot} óptimo y a la vez tener un ancho de pixel que satisfaga aproximadamente el criterio de muestreo lineal. Este método se implementó en lenguaje Pascal para MS-DOS y se incorporó a la biblioteca de programas del sistema imagama.

Anexo B. Método que permite generalizar al cerebelo como valor de referencia (Método 2)

Supongamos la siguiente aserción para un sujeto dado y una determinada ROI:

$$\langle f \rangle / f \times IP_{CER} = \text{cuentas en ROI} / (\text{cuentas en CV} / \langle f \rangle) \tag{1}$$

donde:

IP_{CER} = cuentas en ROI / cuentas en CER (índice de perfusión relativa tomando a CER como región de referencia);

f = cuentas en CV/ cuentas en CER , correspondiente al sujeto en estudio;

$\langle f \rangle$ - valor medio del parámetro f derivado de una base de individuos normales.

Nótese cómo cada factor a ambos lados de la relación (1) se cancelan unos a otros.

Si se asume que f es constante en sujetos donde estas estructuras no están comprometidas patológicamente y que el individuo en estudio tiene perfusión normal en la corteza visual (CV), entonces: si el sujeto tiene perfusión normal en CER el factor $\langle f \rangle / f$ es igual a uno ($f \approx \langle f \rangle$), puesto que se asume que f es constante en todos los sujetos con perfusión normal en CER y CV, con lo cual el miembro derecho de la relación (1) queda igual a IP_{CER} . Por otro lado, si el sujeto tiene un déficit de la perfusión en CER (IP_{CER} está sobrestimado con relación a una base de datos normal) el resultado de la relación cuentas en ROI / (cuentas en CV / $\langle f \rangle$) es igual a IP_{CER} , pero corregido por el factor $\langle f \rangle / f$ que en este caso es menor que uno ($f > \langle f \rangle$). En ambas situaciones, el miembro a la derecha de la relación (1) debe producir un valor equivalente al que daría CER si se utilizara como valor de referencia. Por esta razón, se le llamó pseudocerebelo (PCER) al valor (cuentas en CV/ $\langle f \rangle$). El factor $\langle f \rangle / f$ actúa en ambos casos como un factor de re-escalamiento. La expresión final para la normalización utilizando PCER, para cualquier ROI y para cualquier sujeto con perfusión normal en CV, es:

$$IP_{PCER} = \text{cuentas en ROI} / (\text{cuentas en CV} / \langle f \rangle)$$

BIBLIOGRAFÍA

[1] JARRITT, P.H. y otros, Instrumentation for brain SPET: guidelines and quantification, en Costa, D., Morgan, G., Lassen, N. New trends in nuclear neurology and psychiatry, John Libbey & Company, London, Paris, Rome, (1993) 39-62.
 [2] SÁNCHEZ CATASÚS, C. y otros, Reconstrucción tomográfica. Su aplicación para explorar el cerebro mediante radioisótopos y cámara gamma, Rev. Cub. Física 15 (2) (1998)120-129.
 [3] ROSENTHAL, M.S. y otros, Quantitative SPECT imaging: a review and recommendations by the focus committee of the society of nuclear medicine computer and instrumentation council, J. Nucl. Med., 36 (1995)1489-1513.

- [4] SORENSON ,J.A., PHELPS, M.E., Physics in nuclear medicine, Grune & Stratton, Inc. Harcourt Brace Jovanovich, 2nd ed., Orlando, New York, San Diego, London, San Francisco, Tokyo, (1988).
- [5] KOJIMA, A. y otros, Effect of spatial resolution on SPECT quantification values, J. Nucl. Med., 30, 508 (1989).
- [6] BUVAT, I. y otros, Scatter correction in scintigraphy: the state of the art, Eur. J. Nucl. Med. 21 (7) (1994)675.
- [7] GEWORKI, L. y otros, Recovery correction for quantification in emission tomography: a feasibility study, Eur. J. Nucl. Med. 27 (2) (2000)161-169.
- [8] MORGAN, G. y otros, Radiopharmaceuticals for conventional blood-brain barrier and brain perfusion studies, en Costa, D., Morgan, G., Lassen, N. New trends in nuclear neurology and psychiatry, John Libbey & Company, London, Paris, Rome, (1993)65-84.
- [9] MORETTI, J.L. y otros, Cerebral perfusion imaging tracers for SPECT: Which one to choose?, J. Nucl. Med. 36, (1995)359-363.
- [10] TUCHIDA, T. y otros, Quantification of cerebral blood flow with continuous infusion of technetium-99m-ethyl cisteinate dimer, J. Nucl. Med. 38 (1997)699-1702.
- [11] LASSEN, N. y otros, Regional cerebral blood flow in stroke by ¹³³Xe – inhalation and emission computed tomography, Stroke, 12 (1981)284-287.
- [12] MURASE K. y otros, Kinetic behaviour of technetium-99m-HMPAO in the human brain and quantification of cerebral blood flow using dynamic SPECT, J. Nucl. Med. 33 (1992)135-143.
- [13] ANDERSEN A.R. y otros, Quantitative measurements of cerebral blood flow using SPECT and ^{99m}Tc-d,l-HMPAO compared to ¹³³Xe. J. Cereb. Blood Flow Metab 8, S69-S81, (1988).
- [14] PAYNE, J.K. y otros, Comparison of technetium-^{99m}-HMPAO and xenon-133 measurements of regional cerebral blood flow by SPECT, J. Nucl. Med. 37 (1996)1735 – 1740.
- [15] SYED, G.M.S. y otros, Quantification of regional cerebral blood flow (rCBF) using ^{99m}Tc - HMPAO and SPECT: Choice of the reference region, Nucl. Med Commun, 13 (1992)811-816.
- [16] COSTA, D.C y otros, Quantification of brain perfusion SPET maps with different denominators - A comparative study J. Nucl. Med. 38 (1997)214P-215P.
- [17] MONTALDI, D. y otros, Measurements of regional cerebral blood flow and cognitive performance in Alzheimer's disease, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 53 (1990)33-38.
- [18] HUNTER, R. y otros, The pattern of functional related regional cerebral blood flow investigated by single photon emission tomography with ^{99m}Tc-HMPAO in patients with presenile Alzheimer's disease and Korsakoff 's psychosis, Psychol. Med., 19, (1989)847-855.
- [19] SÁNCHEZ CATASÚS, C. y otros, Perfusión cortical mediante SPECT en pacientes con enfermedad de Parkinson con y sin demencia, Rev. Española de Medicina Nuclear, 16 (1), (1995)25-26.
- [20] SÁNCHEZ CATASÚS, C. y otros, Flujo sanguíneo cerebral mediante SPECT con (Tc99m)-HMPAO en pacientes con enfermedad de Parkinson Rev. Neurol. Arg, 21, (1996)142-149.
- [21] SÁNCHEZ CATASÚS, C. y otros, Regional cerebral blood flow by Brain SPECT (Tc99m)-HMPAO in patients with Parkinson's disease before and after fetal tissue transplantation, Report of four cases, en: Tomograph in nuclear medicine, present status and future prospects, Vienna IAEA Press (1995)281-288.
- [22] SÁNCHEZ CATASÚS, C. y otros, Motor activation studies by brain SPECT [^{99m}Tc] - HMPAO in two patients with Parkinson's disease before and after pallidotomy, J Neurol Sci., 150 (Suppl) (1997).
- [23] ZUBAL, G. y otros, Difference images calculated from ictal and interictal Tc-99m-HMPAO SPECT scans of epilepsy, J. Nucl. Med., 36 (1995)684-689.
- [24] O'BRIEN, T.J. y otros, Subtraction ictal SPECT co-registered to MRI improves clinical usefulness of SPECT in localizing the surgical seizures focus, Neurology. 50 (1998) 445-454.
- [25] SÁNCHEZ CATASÚS, C. y otros, A way to reduce radius of rotation in brain SPECT with a single-head system, Nucl. Med. Commun, 20(1) (1999)99-103.
- [26] SÁNCHEZ CATASÚS, C., Métodos para el mejoramiento de la cuantificación relativa del flujo sanguíneo cerebral mediante tomografía por emisión de fotones (SPECT), Tesis de Doctorado en Ciencias Físicas, ISCTN, La Habana (2001).
- [27] GONZÁLEZ, J. y otros, An acquisition and processing system based on personal computers for gamma cameras, Eur. J. Nucl. Med. 21, S113 (1994).
- [28] SÁNCHEZ CATASÚS, C. y otros, Calculation of brain perfusion ratios with [^{99m}Tc]-HMPAO SPECT using a normalization factor equivalent to the cerebellum as a reference region, Eur. J. Nucl. Med. 27 (8) (2000)1147.
- [29] SÁNCHEZ CATASÚS, C. y otros, Relative indexes of brain perfusion by ^{99m}Tc-HMPAO SPECT utilizing a mean value of the visual cortex to the cerebellum ratio derived from a normal database, aceptado por J. Nucl. Med.
- [30] LARSSON, S.A, BERGSTRAND G., BEFGSTEDT H., A special cutoff gamma camera for high-resolution SPECT of the head, J. Nucl. Med. 25 (1984)1013-1030.
- [31] TSUI, B.M.W. y otros, The geometric transfer function for conebeam and fanbeam collimators, Phys Med Biol., 35 (1990)81-93.
- [32] MUELLER, S.P. y otros, SPECT imaging with the long bore collimator: Loss in sensitivity vs. improved contrast resolution. J. Nucl. Med., 25 (1984)106.
- [33] ESSER, P.D. y otros, Angled-collimator SPECT(A-PECT):An improved approach to cranial single photon emission tomography, J. Nucl. Med. 25 (1984)805-809.
- [34] POLAK, J.F. y otros, Iodine-123 HIPDM brain imaging with a rotating gamma camera and slant hole collimator, J. Nucl. Med. 25 (1984)495-498.
- [35] MOZLEY, P.D. y otros, Effects of aging on the cerebral distribution of technetium-99m

hexamethyl-propilene amine oxime in healthy humans, Eur. J. Nucl. Med. 24 (1997)754 –761.

[36] JONES, K. y otros, Use of Singular value decomposition to characterize age an gender difference in SPECT cerebral perfusion, J. Nucl. Med. 39 (1998)965-973.

[37] WALDEMAR, G., HASSELBALCH, S.G., ANDERSEN, A.R. y otros, Technetium-99m-HMPAO and SPECT of the brain in normal aging, J. Cereb. Blood Flow Metab, 11 (1991)508-521.

[38] MARTIN, A. y otros, Decrease in regional blood flow with normal aging, J. Cereb. Blood Flow Metab, 11 (1991)684-689.

[39] LOESSNER, A. y otros, Regional cerebral function determined by FDG-PET in healthy volunteers: Normal patterns and changes with Age, J. Nucl. Med. 36 (1995)1141-1149.

[40] DEUSTSCH, G. y otros, Regional stability of cerebral blood flow measured by repeated Tc-99m-HMPAO SPECT: implications for the study of state-dependent change, J. Nucl. Med., 38 (1997)6-13.

ESTIMACIÓN DE LAS DOSIS QUE RECIBE LA POBLACIÓN CUBANA DEBIDO A LA INCORPORACIÓN DE RADIONÚCLIDOS POR INGESTIÓN DE ALIMENTOS

J. Tomás Zerquera¹, M. Prendes Alonso¹, I.M. Fernández Gómez¹, D. Pérez Sánchez¹,
G. Rodríguez Castro¹, N. Martínez Ricardo¹, O. Brígido Flores²

¹Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Ciudad de La Habana, Cuba

²Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental de Camagüey, Camagüey, Cuba

Resumen

El presente trabajo evalúa la magnitud de las dosis por irradiación a que está sometida la población cubana por la ingestión de alimentos y agua, así como la caracterización de los contenidos de radiactividad en los alimentos que componen la dieta media del cubano. El estudio indica que las concentraciones de actividad detectadas, tanto para los radionúclidos naturales como para los de origen artificial evaluados, se encuentran dentro de los valores reportados en la literatura especializada. La dosis efectiva comprometida por la incorporación de radionúclidos mediante la ingestión de alimentos para el individuo promedio de la población cubana ha sido estimada en $110 \pm 4 \mu\text{Sv/año}$. Este valor se encuentra en los niveles reportados para poblaciones afectadas únicamente por las precipitaciones radiactivas globales.

ESTIMATION OF THE DOSIS THAT THE CUBAN POPULATION RECEIVES OWING TO RADIONUCLIDE INCORPORATION THROUGH INGESTION OF FOODS

Abstract

The intake of radionuclides to the human body via ingestion of foods and water is one of the causes of radiation doses to persons by internal irradiation. The concentrations of radionuclides present in those foodstuffs that conform the basic diet of the Cubans and in consumption water were assessed in order to evaluate the doses by internal irradiation due to this cause. The paper summarises the results of this study. The studies carried out show that the concentrations of both the natural and artificial radionuclides present in the foodstuffs are in the range of those reported in the specialised literature. Committed effective average dose by the intake of radionuclides via ingestion has been estimated as $110 \pm 4 \mu\text{Sv/year}$. This value is comparable with the values obtained for populations affected only by the global radioactive precipitation.

Palabras clave: ingestion, intake, radium 226, lead 210, polonium 210, thorium 232, strontium 90, radiation doses, radiation protection, maximum permissible level, dosimetry, dose commitments, diet, drinking water, cesium 137, human populations

INTRODUCCIÓN

La ingestión constituye una de las vías de ingreso al organismo humano de radionúclidos, los cuales provocan dosis por irradiación interna al ser incorporados mediante los procesos metabólicos. La incorporación de material radiactivo por esta vía tiene lugar fundamentalmente durante la ingestión de alimentos y de agua, que son las dos formas básicas de ingestión. Los radionúclidos que se ingieren son aquellos que, pasan a la composición de los alimentos y las aguas a través de las diferentes cadenas alimentarias que caracterizan los ecosistemas.

A partir de los estudios que se han realizado en diferentes países con relación a las dosis por la ingestión de alimentos y agua, el United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) [1] ha estimado las dosis representativas para la población mundial. El valor de la dosis tomado como representativo ha sido de $52 \mu\text{Sv/año}$, el cual se ha obtenido promediando las incorporaciones estimadas de cada radionúclido y considerando la distribución mundial por edades.

Para estas estimaciones se han tomado patrones de consumo genéricos, los cuales pueden variar apreciablemente de un lugar a otro del planeta. Por

este motivo el UNSCEAR deja claro en su informe que estos valores sólo deben ser utilizados como referencia. Con el objetivo de precisar la magnitud de las dosis a que está sometida la población cubana como consecuencia de la ingestión de alimentos y agua, se realizó la caracterización de los contenidos de radiactividad en los alimentos que componen la dieta media del cubano y a partir de los resultados obtenidos se evaluaron estas dosis. Este trabajo recoge los aspectos principales de dicho estudio, así como sus resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La primera etapa consistió en la determinación de los contenidos de radiactividad en los alimentos que componen la dieta básica del cubano medio y en el agua de consumo. El muestreo se realizó tomando una ración de los alimentos elaborados para el consumo en el comedor del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones de La Habana y en el comedor del Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental de la ciudad de Camagüey, durante una semana cada mes, en el transcurso de dos años.

Las muestras de leche se tomaron directamente en puntos colectores de la leche que se destina al consumo directo de la población de las ciudades de La Habana y Camagüey. El agua se muestreó en grupos de casas que representan las diferentes fuentes de abasto de agua de cuatro de las principales ciudades del país: La Habana, Cienfuegos, Camagüey y Holguín.

Los alimentos que componían cada ración muestreada se separaron por grupos de alimentos, según la siguiente clasificación: raíces y frutos, granos, cereales, leche, pescado, carne y vegetales. Una vez clasificadas, las muestras se sometieron a los procesos de secado e incineración

para prepararlas para las mediciones, de acuerdo con los procedimientos de pretratamiento establecidos en el Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones.

Las determinaciones de radiactividad se realizaron para el grupo de radionúclidos naturales (Ra-226, Pb-210, Po-210, Th-232) que causan el 91% de las dosis de referencia reportadas por el UNSCEAR [1] para esta vía de exposición y adicionalmente para el Cs-137 y el Sr-90 que como consecuencia de las precipitaciones radiactivas globales se encuentran presentes en el medio ambiente cubano [2]. Una vez listas para ser analizadas, las muestras se sometieron a mediciones del contenido de emisores gamma por espectrometría de alta resolución con el empleo de detectores de germanio hiperpuro. Para las mediciones de plomo 210 y polonio 210, las muestras fueron digeridas con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno con posterior electrodeposición para la realización de las mediciones por conteo alfa total en sistemas de bajo fondo (0,02 cpm). En las determinaciones de Sr-90 se empleó el método de lixiviación ácida de la muestra con precipitación en forma de oxalato o carbonato y la determinación a partir del itrio-90 por el conteo beta total de bajo fondo (1,2 cpm). Las determinaciones de radio 226 en el agua se realizaron mediante la técnica de medición emanométrica de radón [3].

Para la estimación de las dosis se utilizaron los coeficientes de conversión a dosis efectiva comprometida recomendados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) [4], así como la información sobre los hábitos de consumo y la distribución por edades de la población cubana publicada por la Oficina Nacional de Estadísticas de la República de Cuba [5], la cual se resume en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Tasas medias de consumo para los diversos grupos de alimentos en la población cubana (kg/año)

Producto	Grupos de edades					
	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	Más de 17
Raíces y frutos	36	54	100	100	155	155
Granos	3	9	9	14	14	14
Cereales	28	42	85	85	132	132
Lácteos	183	178	178	26	26	26
Pescado	-	4	4	4	4	4
Cárnicos	4	21	21	21	21	21
Vegetales	9	13	36	37	37	37
Agua	260	350	350	465	560	600

Tabla 2. Distribución por edades de la población cubana (habitantes)

Grupos de edades	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	Más de 17
Habitantes	146 024	150 770	881 651	834 632	693 946	8 253 464

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las determinaciones de radionúclidos en las muestras tomadas, agrupadas por tipos de alimentos se muestran en la tabla 3.

Los valores de concentración de actividad para los radionúclidos de origen natural, por el tipo de alimento, no muestran diferencias significativas con las actividades de referencia reportadas en la literatura especializada [1,6].

Para los radionúclidos artificiales Cs-137 y Sr-90 las actividades detectadas son las esperadas producto del impacto de las precipitaciones radiactivas globales que afectan al territorio nacional. Los valores de concentración de actividad para estos radionúclidos se encuentran

dentro de la variación de los resultados obtenidos en otros estudios efectuados en el país [7].

A partir de estas concentraciones se evaluaron las dosis efectivas comprometidas, teniendo en cuenta los grupos de edades recomendados por el OIEA.

Las dosis estimadas para cada radionúclido, ponderadas por el número de habitantes en cada grupo etáreo, se resumen en la tabla 4. En el cálculo de los errores asociados a las dosis estimadas se consideró únicamente el error con que se determinaron los valores de concentración de actividad en los alimentos monitoreados.

De las evaluaciones reflejadas en la tabla 4 puede apreciarse que el aporte fundamental a las dosis se produce por los radionúclidos de la serie del uranio (Pb-210, Po-210 y Ra-226).

Tabla 3. Resultados de las determinaciones de radionúclidos en muestras de alimentos

Producto	Ra-226 mBq/kg	Pb-210 mBq/kg	Po-210 mBq/kg	Th-232 mBq/kg	Sr-90 mBq/kg	Cs-137 mBq/kg
Raíces y frutos	28 ± 10	43 ± 6	43 ± 6	<12	230 ± 40	60 ± 12
Granos	60 ± 12	94 ± 12	92 ± 10	<12	-	75 ± 20
Cereales	41 ± 4	72 ± 12	71 ± 9	<12	-	32 ± 6
Lácteos	7 ± 3	24 ± 6	17 ± 4	<12	24 ± 5	220 ± 26
Pescado	87 ± 14	220 ± 30	4800 ± 400	<12	280 ± 80	43 ± 5
Cárnicos	25 ± 17	53 ± 9	47 ± 7	<12	-	850 ± 5
Vegetales	10 ± 6	61 ± 9	43 ± 6	<12	120 ± 30	80 ± 12
Agua	37 ± 18	3 ± 1	2 ± 1	-	3,4 ± 0,7	<4

Tabla 4. Dosis efectivas comprometidas en un año por la incorporación vía ingestión para los diferentes grupos de edades y media ponderada por la distribución etárea de la población (μ Sv)

Edades (años)	Sr-90	Cs-137	Pb-210	Po-210	Ra-226	Th-232
Hasta 1	3,4 ± 0,4	1,0 ± 0,1	80 ± 10	210 ± 20	60 ± 20	15 ± 10
1 a 2	1,5 ± 0,2	7,80 ± 0,06	51 ± 5	270 ± 16	18 ± 6	2 ± 1
2 a 7	1,6 ± 0,2	6,80 ± 0,05	46 ± 4	160 ± 9	14 ± 4	1,8 ± 0,9
7 a 12	1,8 ± 0,3	3,83 ± 0,02	32 ± 2	90 ± 5	21 ± 7	1,0 ± 0,5
12 a 17	3,5 ± 0,5	5,66 ± 0,04	46 ± 4	65 ± 4	49 ± 15	1,2 ± 0,6
Más de 17	1,2 ± 0,2	5,68 ± 0,04	17 ± 1	49 ± 3	10 ± 3	1,1 ± 0,6
Media ponderada	1,5 ± 0,1	5,72 ± 0,03	23 ± 1	67 ± 2	14 ± 3	1,3 ± 0,5

Los radionúclidos artificiales, como resultado de las precipitaciones globales tienen un aporte menor. Para el caso del Th-232 se aprecia que, a pesar de haber sobrestimado las dosis al tomar las concentraciones iguales al límite de detección, estas no son significativas. Los valores de las dosis evaluadas son comparables con los valores de referencia publicados por el UNSCEAR [1], teniendo en cuenta las especificidades de los hábitos de consumo y la distribución por edades de la población.

A partir de estos resultados se evaluó la dosis efectiva comprometida media para un individuo promedio. El valor resultante fue de $110 \pm 4 \mu\text{Sv}$ por la incorporación debida a un año de consumo, valor que ha sido tomado como representativo para la población cubana.

CONCLUSIONES

Se estudiaron los contenidos de los principales radionúclidos de origen natural y artificial, presentes en los diferentes grupos de alimentos que conforman la dieta media de la población cubana, con el fin de evaluar las dosis asociadas a su incorporación por la ingestión. El estudio realizado indica que las concentraciones de actividad detectadas, tanto para los radionúclidos naturales como para los de origen artificial evaluados, se encuentran dentro de los valores reportados en la literatura especializada.

La dosis estimada para el individuo promedio de la población cubana por la ingestión de alimentos, con un valor de dosis efectiva comprometida media de $110 \pm 4 \mu\text{Sv/año}$, está en el intervalo de los niveles reportados para poblaciones no afectadas por contaminación radiactiva alguna

diferente de la causada por las precipitaciones radiactivas globales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionising Radiation: UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, United Nations, New York (1993).
- [2] JOVA, L., CRUZ, O. y otros, Estudios del fondo radiactivo ambiental en los alrededores de las futuras instalaciones nucleares cubanas, Nucleus 13, La Habana (1992).
- [3] Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, PR/PRA/LVRA/06: Determinación emanométrica de Ra-226 en aguas no salinas. Manual de Procedimientos del Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental, La Habana (1997).
- [4] International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection against Ionising Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, Vienna (1996).
- [5] Centro de Estudios de la Población y Desarrollo, Estudios y datos sobre la población cubana, Publicación No. 24, La Habana (1994).
- [6] MORELL, E., ALONSO, C. y otros, Dosis recibidas por la población aledaña al emplazamiento de la CEN Juraguá por consumo de alimentos, Protección Radiológica en América Latina y el Caribe, Vol. I, Lima (1996).
- [7] CORCHO, J., PRENDES, M. y otros, Resultados del monitoreo de la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental en la República de Cuba de 1992 a 1997, Memorias del IV Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear, La Habana (1998).

DISEÑO E INTERPRETACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS DE MEDICIÓN DE SECCIONES EFICACES DE REMOCIÓN

L. F. Desdín García, L. García Fernández

Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

El presente trabajo está dedicado al desarrollo de un instrumento analítico sencillo para el diseño e interpretación de los experimentos de medición de secciones macroscópicas de remoción neutrónicas. Se analiza la influencia de los parámetros geométricos y nucleares en los valores de las secciones macroscópicas de remoción medidas.

DESIGN AND INTERPRETATION OF EXPERIMENTS TO MEASURE THE REMOVAL CROSS SECTION

Abstract

Paper is devoted to develop a single analytical instrument to design and interpret experiment to measure the neutron removal cross sections. There were analyzed the influence of the geometrical and nuclear parameters into the neutron removal cross sections values measured.

Palabras clave: Monte Carlo method, cross sections, neutron emission, nuclear fragmentation, sell models, elastic scattering neutron transport, energy dependence

INTRODUCCIÓN

Los procesos de transmisión, moderación y absorción son episodios siempre presentes en el fenómeno de transporte de neutrones rápidos en un medio. Las investigaciones teóricas y experimentales de estos procesos han sido estimuladas fundamentalmente por las exigencias del progreso tecnológico en los campos de los reactores nucleares de fisión y fusión [1,2].

La descripción exacta del transporte de neutrones en un sistema es una tarea complicada. Sin embargo, en muchos problemas resulta suficiente una solución aproximada que permite ahorrar tiempo y esfuerzos y que consiste en la introducción de una teoría fenomenológica que atribuye a las capas del medio una sección eficaz de pseudoabsorción denominada sección macroscópica de remoción Σ_R . Este parámetro se caracteriza por su capacidad de síntesis en la descripción y por la información de que es portador.

La sección macroscópica de remoción puede ser definida de maneras diferentes, por lo que las teorías que se construyen sobre la base de este concepto pueden diferir notablemente. Los

primeros modelos se introdujeron en el cálculo de los blindajes de los reactores de fisión y entre ellos los más notables son los de Albert-Welton y el de Spinney [3]. Estos modelos se basan en núcleos (*kernels*) puntuales que no son rigurosos, ni pretenden serlo, pero que resultan de gran adaptabilidad, simplicidad y capacidad de predicción en medios heterogéneos. También se emplean los núcleos empíricos puntuales para aplicaciones prácticas que se pueden obtener por el ajuste de datos experimentales apropiados a una función matemática.

A diferencia de los métodos de medición de las secciones microscópicas de reacción, donde existen relaciones analíticas para las correcciones de buena geometría [4], no se dispone en los métodos de medición de las secciones macroscópicas de remoción Σ_R de ningún instrumento analítico sencillo para describir la influencia geométrica, que pueda emplearse en el diseño experimental y en la interpretación de las mediciones. Considerando lo expuesto se formuló como propósito del trabajo la investigación de la influencia de los parámetros geométricos y nucleares en la medición de Σ_R . La indagación estará limitada al modelo de Spinney [3].

INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS Y NUCLEARES EN LAS MEDICIONES DE Σ_R

Los experimentos de medición de Σ_R deben cumplir con dos requisitos [5]:

$$\Phi(x) / \Phi(0) \sim \exp(-\Sigma x) \quad (a)$$

$$\Phi(x_0) / \Phi(0) = \text{const.}(L_1) \quad (L = \text{const.}, L_1 < L_2 < L_3) \quad (b)$$

donde: $\Phi(x)$ - flujo de neutrones, x - espesor de la muestra, L -distancia fuente-detector, L_1 -distancia fuente-muestra, L_2, L_3 y x_0 son constantes.

Para el análisis de los experimentos de medición de Σ_R se desarrolla un enfoque analítico sencillo, que considera que la contribución básica a la interacción de los neutrones con el material se debe a la dispersión elástica y el resto de los procesos resultan despreciables. El esquema del experimento y sus parámetros geométricos se muestran en la Fig 1.

Si $x < 2 \lambda_{rel}$, donde λ_{rel} es la longitud de relajación, se puede deducir una aproximación sencilla que describa el comportamiento de Σ_R (E) con la geometría (E - energía del neutrón), considerando que el neutrón experimenta una sola colisión.

Si L_1 ($L_1 = L_2 = L/2$) es suficientemente grande se puede asumir que la densidad del flujo de neutrones en el punto A del anillo $d\xi dr$ a la distancia de la superficie del disco se determina como:

$$\Phi(\xi) = Q \exp(-n_0 \sigma_t \xi) / 4\pi L_1^2 \quad (1)$$

donde Q es la salida de la fuente y σ_t la sección microscópica total. El número de núcleos dn en el anillo $d\xi dr$ es:

$$dn = 2\pi n_0 \frac{L_1^2 \text{tg} \beta}{\cos^2 \beta} d\beta d\xi \quad (2)$$

donde n_0 es el número de núcleos por unidad de volumen.

La probabilidad de dispersión $P_s(2\beta)$ de un neutrón en uno de los núcleos del anillo $d\xi dr$ en dirección del detector de área S_d es igual al producto de la sección diferencial de dispersión elástica $d\sigma_s/d\Omega$ por el ángulo sólido con que se ve el detector desde el punto A:

$$P_s(2\beta) = \left(\frac{d\sigma_s(E, 2\beta)}{d\Omega} \right) S_d \cos^2(\beta) / L_2^2 \quad (3)$$

multiplicando (1), (2) y (3) por la probabilidad de que el neutrón no experimente una segunda colisión en la capa restante ($x - \xi$) se obtiene:

$$dN_s(\xi, \beta) = \frac{Q n_0 S_d}{2L_1^2} \exp(-n_0 \sigma_t x) \left(\frac{d\sigma_s}{d\Omega} \right) \text{tg} \beta d\beta d\xi \quad (4)$$

integrando por ξ y β obtenemos el número total de neutrones N_s que aporta el proceso de acumulación (donde β_{max} es el ángulo de dispersión máximo).

$$N_s = \frac{Q n_0 S_d}{2L_1^2} \exp(-\Sigma_T x) \int_0^x d\xi \int_0^{\beta_{max}} \frac{d\sigma_s}{d\Omega} \text{tg} \beta d\beta \quad (5)$$

Por otra parte el número de neutrones que llegaría al detector en condiciones de buena geometría sería:

$$N_b = \frac{Q S_d}{16 \pi L_1^2} \exp(-\Sigma_T x) \quad (6)$$

de donde se obtiene que Σ_R es igual a:

$$\Sigma_R = \Sigma_T - \frac{1}{x} \ln \left[1 + 8\pi n_0 x \int_0^{\beta_{max}} \frac{d\sigma_s}{d\Omega} \text{tg} \beta d\beta \right] \quad (7)$$

Teniendo en cuenta la poca contribución del segundo miembro para espesores pequeños en el argumento del logaritmo en (7) podemos escribir con buena aproximación:

$$\Sigma_R = \Sigma_T - 8\pi n_0 \int_0^{\beta_{max}} \frac{d\sigma_s}{d\beta} \text{tg} \beta d\beta \quad (8)$$

Si recordamos que $L_1 = L_2 = L/2$ y tenemos en cuenta que la contribución de los ángulos grandes a la integral es pequeña, como se señaló en [6] entonces cuando $\beta \rightarrow \beta_{max}$ obtenemos la expresión que es la definición de la sección macroscópica de remoción que se postula en el modelo de Spinney:

$$\Sigma_R(E) = \Sigma_T(E) - 2\pi \int_{-1}^{+1} \Sigma_s(E, \mu) d\mu$$

donde $\Sigma_T(E)$ es la sección macroscópica total, $\mu = \cos \beta$ (β - ángulo de dispersión), en la energía del neutrón y $\Sigma_s(E, \mu)$ la sección macroscópica diferencial de dispersión elástica de neutrones y que relaciona la sección macroscópica de remoción con la geometría, lo que demuestra la corrección del razonamiento previo.

La expresión (8) permite analizar la influencia de los factores geométricos y nucleares en los valores de la sección macroscópica de remoción.

CÁLCULO DE LAS SECCIONES MACROSCÓPICAS DE REMOCIÓN A PARTIR DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y NUCLEARES

La expresión (8) se puede reescribir en la forma:

$$\Sigma_R = \alpha \Sigma_T = \left(1 - \frac{8\pi m_0}{\Sigma_T} \int_0^\beta \frac{d\sigma_s}{d\Omega} \operatorname{tg}\beta \, d\beta\right) \Sigma_T \quad (9)$$

De manera que el valor de α se puede calcular a partir de los datos nucleares y los parámetros geométricos del experimento.

La variante más exacta para el cálculo de α consiste en emplear datos evaluados de las secciones diferenciales $d\sigma_s/d\Omega$ y de las secciones eficaces totales. En el trabajo se emplea la biblioteca ENDF/B-V [7]. Además, α puede ser determinada para ángulos pequeños empleando un modelo Ramsauer para el cálculo de la sección macroscópica total y el modelo de Bethe-Placzek para el cálculo de las secciones diferenciales $d\sigma_s/d\Omega$.

Variantes simples del modelo Ramsauer se han empleado durante años para ajustar los valores de las secciones eficaces neutrónicas a pesar de que no estaban fundamentadas adecuadamente.

Recientemente se han efectuado cálculos con el modelo de Glauber que incluyen la refracción y cálculos del modelo óptico que han validado al modelo de Ramsauer en la escala de 5-50 MeV. En dicho modelo la sección total se calcula como:

$$\sigma_T = 2\pi(R + \lambda)^2 (1 - \tau \cos \delta) \quad (10)$$

donde R es el radio del potencial nuclear, λ la longitud de onda reducida, τ es un parámetro que es igual a 1 si no hay absorción y menor que 1 si la

absorción ocurre, y δ denota el cambio de fase cuando la onda pasa a través del núcleo. En general, los cálculos, partiendo de que δ puede ser descrito como (E - energía cinética del neutrón fuera del núcleo):

$$\delta = K(\sqrt{a + bE} - \sqrt{E}) \quad (11)$$

y usando la forma y los parámetros del modelo óptico estándar, brindan una concordancia de alrededor de 2,5% con los datos experimentales. Sin embargo, recientemente en [8] se logró mejorar dicha concordancia a 1,5% describiendo a δ con la expresión:

$$\delta = K((\sqrt{a + bE} - \sqrt{E}) + (\sqrt{a + bE} - \sqrt{E}))^2 \quad (12)$$

En esta aproximación se dispone de los valores de los parámetros para realizar cálculos en el intervalo de núcleos entre el vanadio y el bismuto.

Para núcleos en el intervalo entre el carbono y el vanadio en la región de $E = 14$ MeV se empleará la variante del modelo Ramsauer reportada en [9]:

$$\sigma_T = 2\pi(R_0 A^{1/3} + \lambda)^2 [1,021 - 0,104 \cos(2,18 A^{1/3} - 1,25)] \quad (13)$$

El valor de R_0 se determinó a partir de [10]:

$$R_0 = 1,21 + \frac{4,0}{A^{2/3}} - \frac{15}{A^{4/3}} \quad (14)$$

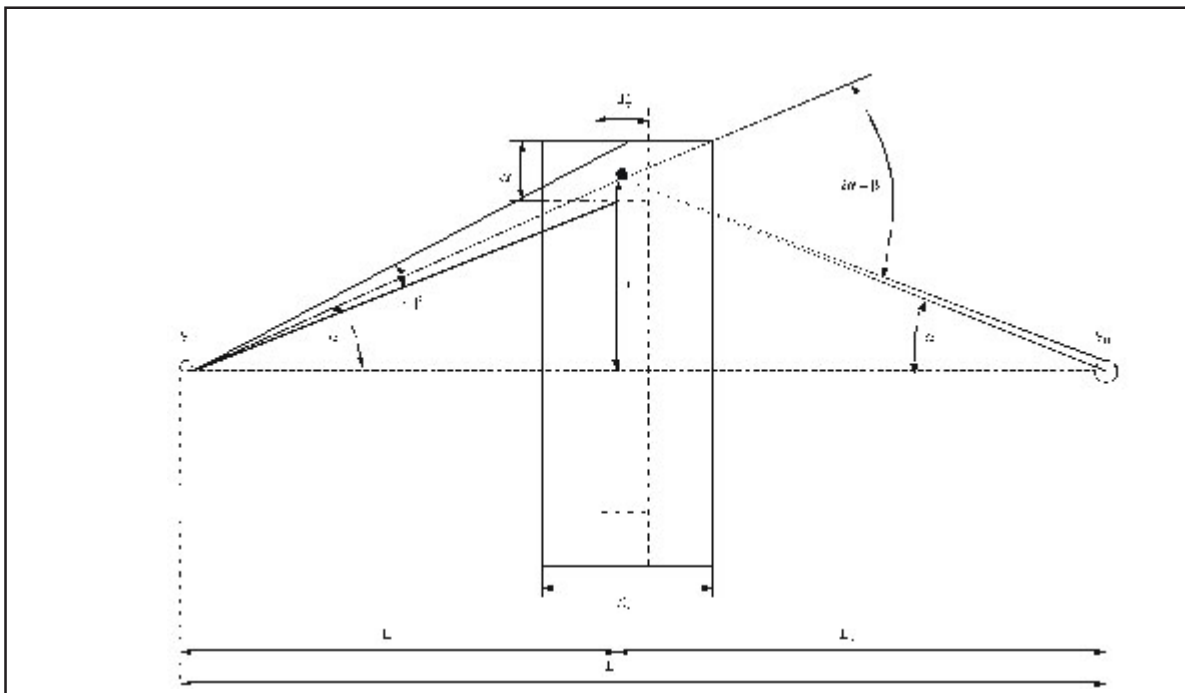


Figura1. Parámetros geométricos del experimento.

En la región de energía analizada el cálculo de las secciones diferenciales elásticas se puede efectuar sobre la base de la teoría de la difracción de Fraunhofer en la cual el núcleo se asume opaco y con frontera bien definida. La sección elástica viene entonces dada por la fórmula del disco negro o fórmula de Bethe-Placzek:

$$\frac{d\sigma_s}{d\Omega} = k^2 R_0^4 \left(\frac{J_1(kR_0\beta)}{\beta} \right)^2 \quad (15)$$

donde k es número de onda, R_0 el radio nuclear y J_1 es una función de Bessel de orden 1. Esta aproximación sólo funciona bien para ángulos pequeños de dispersión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 2 se muestran a manera de ejemplo el comportamiento de los parámetros α del Ca, Fe y Pb calculados a partir del modelo propuesto (8) y de los datos de la biblioteca ENDF/B-V. Como era de esperar los valores de los parámetros α tienden a una constante cuando el ángulo de integración máxima supera los 90° . Los valores de α pueden diferir notablemente de un núcleo a otro.

Como se observa en la Fig. 2 los valores de α obtenidos a partir del modelo propuesto y de los datos de la biblioteca ENDF/B-V se encuentran en buena concordancia con los valores experimentales.

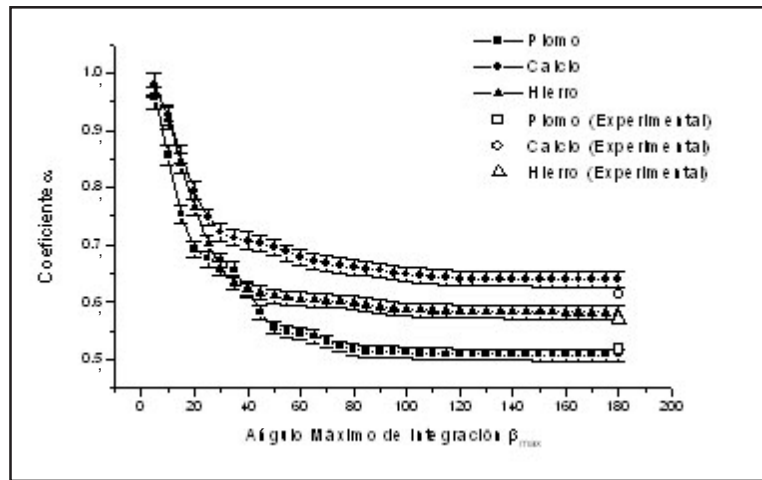


Figura 2. Cálculo de los coeficientes α del Ca, Fe y Pb obtenidos a partir del modelo propuesto y de los datos de la biblioteca ENDF/B-V.

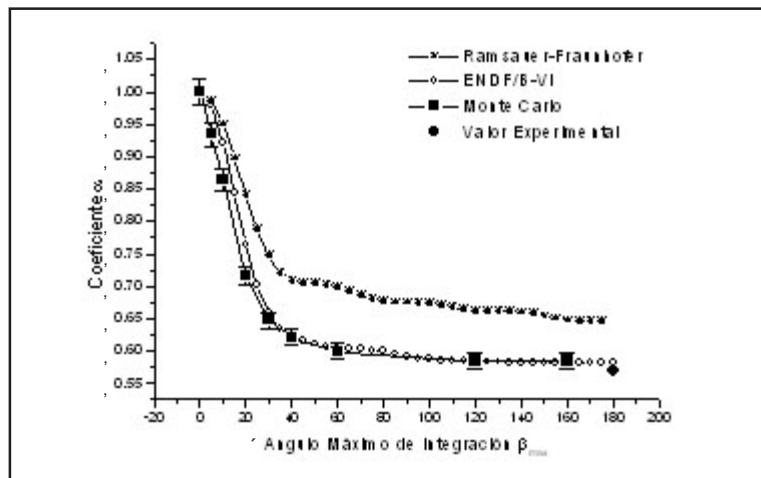


Figura 3. Comparación de los valores de α del hierro calculados a partir del Método de Monte Carlo, la expresión (8) con los datos de la biblioteca ENDF/B-V y el modelo Ramsauer combinado con la aproximación de Fraunhofer.

En la Fig. 3 se muestra la variación del parámetro α en función del ángulo máximo de dispersión β_{max} en el hierro a partir del cálculo por el método de Monte Carlo (MCNP- 4A) [11], la expresión obtenida (8) con los datos de la biblioteca ENDF/B-V y con la aproximación de Bethe-Placzek con el cálculo de Σ_T a partir de la parametrización de Ramsauer.

Para ángulos de integración mayores a 40° se obtiene una excelente concordancia entre los valores obtenidos por el método de Monte Carlo y el método propuesto con los datos de la biblioteca ENDF/B-VI.

En el caso de $\beta_{max} = 180^\circ$ ambos métodos coinciden con el dato experimental reportado. Los valores resultantes de los cálculos sobre la base de la aproximación de Ramsauer-Fraunhofer resultan sistemáticamente mayores a los obtenidos por los otros dos procedimientos de cálculo y su divergencia aumenta al aumentar β_{max} . Tal comportamiento era esperado ya que (15) es válida sólo para ángulos pequeños.

Para β_{max} pequeños la concordancia resulta aceptable, así a 5° los cálculos sobre la base de (8) (y la biblioteca ENDF/B-V) y la aproximación Ramsauer-Fraunhofer son 4,8% y 5,7% superiores al valor de Monte Carlo. A $1,707^\circ$ la divergencia se reduce a 1,6% y 1,9% respectivamente.

En ambos casos superan al valor de Monte Carlo porque sólo tienen en cuenta la dispersión elástica, por lo tanto desprecian todas las reacciones que conducen a la emisión de neutrones en la dirección de incidencia, lo que da lugar a la sobrestimación de Σ_T . La divergencia se debe fundamentalmente a la contribución de la dispersión inelástica en la zona del continuo. La contribución de la reacción (n,2n) resulta despreciable lo cual es lógico si se tiene en cuenta que la energía umbral escogida en los cálculos fue igual a 13,0 MeV.

En este análisis se ha considerado a Monte Carlo como un Benchmark debido a su grado de realismo en la descripción.

Como conclusión podemos señalar que se obtuvo un instrumento analítico sencillo para describir la influencia geométrica y nuclear, que puede emplearse en el diseño experimental y en la interpretación de las mediciones de Σ_T . La investigación fue limitada al modelo de Spinney ya que este modelo es de aplicación muy general.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a G. Martín por las valiosas discusiones y recomendaciones que enriquecieron el trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BELL, G.I., GLASSTONE S., nuclear reactor theory, Van Nostrand Reinhold Co, London (1970).
- [2] GLASSTONE, S., Controlled thermonuclear reactions, R.Krieger Publishing Co, Huntington. N.York (1975).
- [3] WOOD, J., Computational methods in reactor shielding, Pergamon Press, Oxford (1982)192-207.
- [4] ABRAMOV, A.I., KAZANSKII, Y.A., MATUSEVICH, E.C., Fundamentos de los métodos experimentales en la física nuclear(en ruso), Energoatomizdat, Moscú (1985) 453-455.
- [5] BOUFRAQUECH, A., PETO, G., CSIKAI, J., Removal cross sections for 14.8 MeV neutrons, Acta Physica Hungarica 55 (1-4) (1984)303-310.
- [6] VASVARY, L. y otros, Investigations on fast neutron interactions with construction materials, Acta Physica Hungarica 58(1, 2) (1985)57-62.
- [7] KINSEY, R., Data Format and Procedures for Evaluated Nuclear Data File, ENDF, Brookhaven National Laboratory Report, BNL-NCS-50496 (ENDF 102) 2nd Ed. (ENDF/V), October (1979).
- [8] BAUER, R. y otros, Application of a simple Ramsauer model to neutron total cross section Conference Proceeding Vol.59, Nuclear data for Science and Technology, G.Reffo, A.Ventura and C.Grandi (Eds.) SIF. Bologna (1997)317-319.
- [9] ANGELI, I., CSIKAI, J., Total neutron cross section and the Nuclear Ramsauer Effects, Nucl. Phys. A158 (1970)389-392.
- [10] ANGELI, I., CSIKAI, J. y NAGY, P., Semiclassical Description of fast-neutron cross section. Nucl. Sci. Eng. 55(1974)418-426.
- [11] BREISMEISTER, J., (Ed.) MCNP General Monte Carlo Code N-Particles Transport Version 4A, LA-12625, November (1993).

CARACTERIZACIÓN RADIATIVA DE LOS SUELOS Y PRODUCTOS AGRÍCOLAS DE LA REGIÓN CENTRO-SUR DE CUBA

R.Y. Sibello Hernández, C. M. Alonso Hernández, M. Díaz Asencio, H. Cartas Águila
 Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar los niveles de radiactividad existentes en suelos y en productos agrícolas en la región centro-sur de Cuba. Las muestras fueron tomadas en 30 estaciones. Se hicieron alrededor de 200 análisis, para la determinación de los contenidos de estroncio 90 y otras tantas muestras se analizaron por espectrometría gamma. Se determinó la actividad producida por potasio 40, cesio 137, uranio 238 y torio 232. El estroncio 90 fue determinado por análisis radioquímico y las determinaciones del contenido de emisores gamma en las muestras se realizaron en un sistema espectrométrico con un detector semiconductor Ge (Li), un detector de centelleo NaI (TI) y un detector HPGe.

Los resultados obtenidos en los componentes estudiados demuestran que las concentraciones de los radionúclidos naturales coinciden con los reportados en regiones normales desde el punto de vista radiactivo y en los radionúclidos artificiales, sus concentraciones son similares a las reportadas en regiones afectadas solamente por las precipitaciones radiactivas globales.

RADIOACTIVE CHARACTERIZATION OF LANDS AND AGRICULTURAL PRODUCTS OF THE CENTER-SOUTH REGION OF CUBA

Abstract

The object of this work was to determinate the radioactive levels in soil samples and in the agricultural products from the Central-south region of Cuba. Approximately, 200 analysis were done. The strontium 90 was determined by radiochemical separation and the determination of gamma emitters contents in the samples was carried out by spectrometric analysis, using a semiconductor detector (Ge-Li), a scintillation detector NaI (TI) and HPGe detector.

The results obtained in the components studied: soils and agricultural products, show that the concentrations of natural radionuclides are similar to those reported for normal regions. In the case of artificial radionuclides, their concentrations are similar to those reported for regions which have been affected only by the global radioactive precipitations.

Palabras clave: radioactivity; terrestrial ecosystem; soils and agricultural products of Cuba, natural radioactivity, strontium 90, gamma spectroscopy, background radiation

INTRODUCCIÓN

La caracterización radiológica de los suelos y de los productos agrícolas tiene particular importancia para determinar las dosis de radiación que el ser humano recibe debido a la exposición al medio en que se desarrolla o por el consumo de alimentos. A estas dosis de radiación aporta tanto la radiactividad natural como la radiactividad artificial. De los radionúclidos naturales, los cosmogénicos no tienen un aporte significativo a las dosis de radiación gamma externa del suelo; sin embargo, los radionúclidos primordiales, existentes en la corteza terrestre desde sus orígenes, aportan a las dosis

radiacionales, tanto por exposición como por la incorporación de los mismos a los alimentos que consume el hombre.

Una de las causas de la existencia de los radionúclidos artificiales son los accidentes y las explosiones nucleares. De estos radionúclidos, el cesio 137 (Cs-137) y el estroncio 90 (Sr-90) tienen gran significado desde el punto de vista radiacional, porque sus períodos de semidesintegración son relativamente largos, por lo que perduran en la naturaleza y sus períodos biológicos son también largos, lo que hace que una vez incorporados permanezcan en el organismo por tiempo prolongado.

En este artículo se presentan y discuten los resultados de los análisis radioquímicos y de las mediciones espectrométricas de las muestras de suelo representativas de la zona y de los productos agrícolas, producidos y consumidos en la región. Los radionúclidos estudiados tienen gran interés desde el punto de vista radiactivo.

Se obtuvieron los datos de la radiactividad existente en el ecosistema terrestre de la localidad, desconocidos hasta entonces y necesarios para establecer el control y la vigilancia radiológica en la región, así como para determinar las dosis radiacionales por exposición al medio y debido a la ingestión de productos agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras se tomaron en 30 estaciones localizadas en la región centro-sur de Cuba, en la zona comprendida dentro de un radio de 25 km, tomando como referencia la CEN Juraguá. La ubicación de los puntos y frecuencia de muestreo tuvieron en cuenta las características generales de la zona, las características meteorológicas, las principales producciones agrícolas, así como la densidad demográfica y los hábitos alimentarios de la población en esta región.

Métodos de muestreo

La recogida de las muestras de suelo se realizó a una profundidad de 5 cm siempre en una planicie abierta y con baja vegetación, alejada a más de 120 metros de las edificaciones. En este terreno se delimitó un cuadrado de 15 m X 15 m y las muestras de suelo se tomaron en cada uno de los vértices y en el centro, en una porción cuadrada de 30 cm X 30 cm en cada caso. Antes de tomar las muestras, se eliminó la vegetación que cubre el suelo y de la muestra total se realizó un cuarteo. La masa de cada muestra fue aproximadamente de 2 kg y se transportaron al laboratorio en bolsas de polietileno.

Las muestras de pastos y de suelo se tomaron paralelamente, en un cuadrado de 15 m X 15 m, en los vértices y en el centro del cuadrado, en cantidades que garantizaran, que la masa de la muestra deshidratada fuera mayor que un kilogramo.

Los productos agrícolas recolectados fueron los que se producen y consumen en la región. De cada muestra se recolectó aproximadamente 3 kg. Los procedimientos de muestreo utilizados y arriba descritos son los recomendados en [1-4].

Pretratamiento de las muestras

Las muestras de suelo se limpiaron de raíces y piedras, se pesaron y se secaron en una estufa a una temperatura de 110°C durante cinco horas. Seguidamente, se molieron y se tamizaron por un tamiz de 0,5 mm de diámetro. Luego, se incineraron a 400°C durante la noche.

Las muestras de pastos y productos alimenticios se secaron al aire libre y luego en una estufa a temperatura de 110°C durante cinco horas. Los pastos secos se molieron en el molino de cuchilla y se pesaron. Las muestras se incineraron a 400°C alrededor de 36 horas, hasta lograr que la ceniza estuviera gris-blancuzca. Esta manera de pretratar las muestras es la recomendada en [3, 4].

Análisis radioquímico

La frecuencia de análisis de los suelos y los pastos fue trimestral, con esta periodicidad se les determinó la actividad β -total, el contenido de emisores γ y el contenido de Sr-90 a las muestras.

Para la determinación radioquímica del Sr-90 en pastos y productos alimenticios se procedió según [3, 4]. Primero a las muestras se les agregó la solución portadora de estroncio y el estroncio 85 (Sr-85) para el control del rendimiento químico. Después se procedió al lixiviado de las muestras con HCl (c) (ácido clorhídrico concentrado). Este proceso se realizó agregando a la ceniza de la muestra 50 mL del ácido, se agitó y en un baño de arena se llevó a sequedad, repitiendo dos veces este paso. Luego, al residuo sólido se le añadió 400 mL de HCl₂ N caliente y se filtró y se continuó lavando con este ácido el residuo sólido hasta la total decoloración del filtrado obtenido.

Más adelante se procedió a la separación del Sr-90 en el licor. Primero se hizo precipitar los hidróxidos del grupo II y las tierras raras. El filtrado obtenido, que contiene el Sr-90, se acidificó, se introdujo el portador de itrio y se dejó acumular el Y-90 durante 15 días. Finalmente el itrio se purificó y se precipitó en forma de oxalatos. El rendimiento químico del itrio se determinó por complexometría.

Mediciones espectrométricas y radiométricas

Las determinaciones del contenido de emisores gamma en las muestras se realizaron en un sistema espectrométrico que utilizó un detector semiconductor (Ge-Li), un detector de centelleo NaI (TI) y posteriormente un HPGe.

La geometría utilizada para las mediciones consistió en un cilindro de 70 mm de diámetro y una altura de 15 mm. La calibración del espectrómetro se realizó

usando patrones cuyo error no excede el seis por ciento.

RESULTADOS

Las tablas 1 al 6 muestran los resultados obtenidos para suelos, pastos, frutos, vegetales, tubérculos y productos de origen vegetal. Los valores de la desviación estándar geométrica (DSG) obtenidos son menores o muy cercanos a dos, lo cual es característico para las distribuciones de los valores de fondo [5].

El hecho de obtener dependencias lineales es un indicador de la homogeneidad del monitoreo. Si en el futuro, para esta misma red de muestreo, se observaran desviaciones de la linealidad o valores elevados de la DSG, podría ser por la influencia de una fuente local de contaminación.

Las concentraciones de radionúclidos naturales en los suelos muestreados se encuentran en el intervalo reportado en la literatura [6-10], para zonas con un fondo radiológico normal según se muestra a continuación. (Entre paréntesis se señala el valor medio).

Radionúclido	Actividad reportada (Bq/kg P.S.)
K-40	100-700 (350)
Ra-226	10-50 (25)
Th-232	7-50 (25)

La concentración de radionúclidos artificiales en las muestras también se encuentra en el intervalo reportado por la literatura para zonas afectadas solamente por las precipitaciones radiactivas globales [8].

Radiactividad de los suelos

Radionúclido	Tipo de distribución	Concentración Bq/kg de ceniza					
		Valor medio geom. Xg	Valor promedio (C)	Desv. estándar geom.	Desv. estándar	Cuantiles 95%	Cuantiles 5%
Cs-137	LGN	11	12	1,5	5,4	20	2,9
Sr-90	LGN	3,9	4,6	1,8	3,3	13	0,6
K-40	LGN	284	317	1,6	166	577	93
Ra-226	LGN	24	27	1,6	18	56	8,5
Th-232	N	5,7	5,7	1,6	3,8	14	1,2

Radiactividad de la vegetación (pastos naturales)

Radionúclido	Tipo de distribución	Concentración Bq/kg de ceniza (*)					
		Valor medio geom. Xg	Valor promedio (C)	Desv. estándar geom.	Desv. estándar	Cuantiles 95%	Cuantiles 5%
Cs-137	LGN	0,8	1,0	1,8	0,9	4	0,2
Sr-90	LGN	18	19	1,4	7,9	35	6,5
K-40	LGN	354	374	1,4	142,5	600	190
Ra-226	LGN	13	16	1,9	9,78	36	3,2
Th-232	N	2	2	1,6	2,43	8	1,3

Los valores obtenidos se encuentran en el intervalo reportado en la literatura para zonas normales de fondo [6,9,10].

Radiactividad de los frutos

Tabla 3. Resumen de las concentraciones de K-40, Cs-137, Sr-90 y beta total en frutos

Fruto	Parte del fruto medida	[N o de muestras medidas] Activ. específica (Bq/kg de ceniza) (Intervalo de variación)			
		B total [*]	K-40	Cs-137	Sr-90
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Comestible	[1] 78±6	[2] 6872 (6540-7205)	[2] <16 (<15-<18)	[1] 3,6
Limón (<i>Citrus aurantifolia</i>)	Total		[1] 5674	[1] <12	[1] 62
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	Agua		[1] 6414	[1] <18	
Fruta bomba (<i>Carica papaya</i>)	Total		[1] 18058	[1] <38	[3] 6,1 (5,6-6,4)
Mandarina (<i>Citrus cinensis</i>)	Total				[1] 42
Guayaba (<i>Sidium guajaba</i>)	Total				[4] 5,3 (3,3-9)
Plátano burro (<i>Musa sp</i>)	Total	[1] 20±2	[1] 10980	[1] <22	[1] 2,2

*La actividad se reporta en Bq/kg peso húmedo.

CIENCIAS NUCLEARES

Tabla 4. Actividad específica de K-40, Cs-137, Sr-90 en los vegetales cosechados en la región

Vegetal	Parte del vegetal medida	[No. de muestras medidas] Actividad específica (Bq/kg de ceniza) (Intervalo de variación)		
		Sr-90	K-40	Cs-137
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Completo	[5] 3,4 (1,9-9)	[3] 11303 9771-13118	[3] <16 (<12-<19)
Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	Comestible	[1] 4,4		
Pepino (<i>Cucumis sativus lin</i>)	Completo	[5] 6,8 (3-7,4)	[1] 11635	[1] <12
Calabaza (<i>Cucurbita máxima</i>)	Completo	[2] 3,5 (3,1-3,8)		
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	Completo	[2] 8,5 (6-11)	[1] 11445	[1] <6,0
Ají (<i>Capsicum annum</i>)	Completo	[2] 1,9 (1,7-2,0)	[1] 10945	[1] <14
Col (<i>Brassica oleracea</i>)	Completo	[1] 6,0		
Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	Completo	[1] 0,12		
Ajo (<i>Allium sativum</i>)	Completo	[1] 8,8		
Quimbombó (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	Completo	[2] 4,8 (4,1-5,5)	[1] 11445	[1] <18
Habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Completo	[2] 7,35 (7,3-7,4)		

La actividad beta total del tomate cosechado en la región es de $73 \pm 4,8$ Bq/kg de peso húmedo.

CIENCIAS NUCLEARES

Radiactividad de los tubérculos

Tabla 5. Actividad específica de K-40, Cs-137, Sr-90 en los tubérculos cosechados en la región

Tubérculo	Parte del tubérculo medida	[No. de muestras medidas] Actividad específica (Bq/Kg de ceniza) (Intervalo de variación)		
		Sr-90	K-40	Cs-137
Boniato (<i>Jomoea batatas</i>)	Comestible	[4] (10-14)	12 [1] 12238	[1] <12
Yuca (<i>Manihot esculenta grantz</i>)	Comestible	[2] (10-14)	12 [1] 13031	[1] <13
Nabo (<i>Raphanus sativus</i>)	Comestible	[1]	12	
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	Comestible	[1]	11 [1] 14884	[1] <17

Radiactividad de otros productos de origen vegetal

Tabla 6. Actividad específica de Sr-90 en otros productos de origen vegetal

Muestra	Número de muestras	Actividad específica de Sr-90 (Bq/kg de ceniza)		
		Valor medio	Valor mínimo	Valor máximo
Caña (<i>Saccharum officinarum</i>)	1	50	-	-
Miel final	1	23	-	-
Maíz (<i>Zea mays</i>)	4	2,4	1,6	3,0
Henequén (<i>Agave agave</i>)	5	113	75	163

CONCLUSIONES

Con los estudios de la radiactividad ambiental en el ecosistema terrestre en los alrededores de la CEN Juraguá podemos concluir que las concentraciones de los radionúclidos naturales (K - 40, Th-232, Ra-226, Be-7 y Po-210) en los componentes estudiados: suelos, vegetales y productos alimenticios coinciden con los reportados en regiones normales desde el punto de vista radiactivo.

Los radionúclidos artificiales encontrados fueron Cs-137 y Sr-90 en concentraciones similares a las reportadas en regiones afectadas solamente por las precipitaciones radiactivas globales.

Los resultados obtenidos tienen gran importancia desde el punto de vista científico porque se obtuvieron datos inéditos hasta entonces sobre la radiactividad en la zona y desde el punto de vista social porque sienta las bases para la cuantificación de cualquier impacto radiactivo a nivel territorial.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CPHR -MA02-87, Guía para la recolección y registro de muestras del medio ambiente en los alrededores de las instalaciones nucleares.
- [2] CPHR -MA-87, Guía para el trabajo de las postas radiológicas.
- [3] CPHR, Guía metodológica para el pretratamiento de muestras del medio ambiente.
- [4] CPHR -MA)-3-87, Guía para la determinación de concentraciones de Sr-90 en muestras del medio ambiente.
- [5] GILBERT, R., Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, New York (1987).
- [6] UNSCEAR, La radiación ionizante: Fuentes y efectos biológicos, Reporte 1982, Naciones Unidas, New York (1993).
- [7] NCRP, Environmental Radiation Measurements. Report 350, Washington (1976).
- [8] UNSCEAR, La radiación ionizante: Fuentes y efectos biológicos. Reporte de 1982, Naciones Unidas, New York (1985).
- [9] Curso regional de entrenamiento en estrategias y metodologías para estudios aplicados de radiación marina. Radiactividad ambiental alrededor de la CEN Laguna Verde, Veracruz, Mexico (1992).
- [10] Environmental Monitoring of the Angra Reactor Site. Period 1982-1984.

EVALUACIÓN DE LA DOSIS QUE RECIBE LA POBLACIÓN DE LA CIUDAD DE LA HABANA POR EL RADIO 226 QUE INCORPORA CON LAS AGUAS DE CONSUMO

J. Tomás Zerquera, M. Prendes Alonso, I. Ma. Fernández Gómez, N. Martínez Ricardo

Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

El presente trabajo hace una evaluación de la dosis que recibe la población de la Ciudad de La Habana, el núcleo poblacional más importante del país, por el radio 226 que incorpora con las aguas de consumo.

A partir de la recogida de muestras de agua de las fuentes de abasto más importantes de la Ciudad y la determinación en las mismas de las concentraciones de radio 226 se evalúa la dosis a miembros del público considerando la distribución por grupos de edades. Las concentraciones halladas oscilan entre 40-150 mBq/L con una media de 90 ± 40 mBq/L. La dosis media comprometida para la población de la ciudad, considerando su distribución por edades, se estimó en $21 \pm 2 \mu$ Sv por el consumo de un año.

EVALUATION OF THE RADIUM 226 DOSES INCORPORATED WITH THE CONSUMPTION WATERS, WHICH IS RECEIVED BY THE CITY OF HAVANA INHABITANTS

Abstract

Because of the relatively good solubility of radium compounds contained in the crust of the earth, frequently it is possible to find in spring waters concentrations of radium 226 which may be significant. Taking in account that persons consume important volumes of water annually, it is necessary to assess the doses to population due to the intake of radium 226 by this pathway. Samples were taken in the principal water sources in Havana City and for each sample the radium 226 concentration was determined. The concentrations of radium 226 in waters are in the range 40-150 mBq/L with a mean of 90 ± 40 mBq/L. Calculated committed dose, averaged over the age distribution of city's population, was estimated in 21 ± 2 Sv per year.

Palabras clave: ingestion, intake, radium-226, radiation doses, radiation protection, maximum permissible level, dosimetry, dose commitments, diet, drinking water, human populations

INTRODUCCIÓN

La ingestión de productos alimenticios y de agua es una de las vías más importantes de incorporación de radiactividad al organismo humano. La dosis por incorporación de radionúclidos, vía ingestión, constituye el 9% de las dosis efectivas anuales que recibe el miembro del público promedio [1].

El agua, por su condición especial de disolvente universal, es un portador potencialmente importante de radionúclidos en solución, que son incorporados por las personas al consumirla. Esto

se acentúa por los importantes volúmenes de agua que como promedio consume cada persona al año, unos 600 L/año en los adultos [2].

Uno de los radionúclidos más abundantes en las aguas de consumo humano es el radio 226 (Ra-226). Este radionúclido de origen natural, de relativa abundancia en la corteza terrestre, se encuentra generalmente formando compuestos que tienen buena solubilidad en agua. Por esta razón y por la incidencia que puede tener el radón 222 emanado de las aguas que contienen radio 226 en solución, se estudian las aguas destinadas al consumo humano para determinar las concentraciones de este radionúclido.

En Cuba existen estudios recientes de este tipo. En 1995 culminaron los trabajos de determinación de las concentraciones de radio 226 en las aguas de los principales manantiales de aguas embotelladas del país [3]. Para la correcta evaluación de la dosis que recibe el público por esta vía fue necesario hacer un estudio más detallado de las fuentes de abasto de agua. Este trabajo muestra los resultados del estudio de las fuentes de abasto del núcleo poblacional más importante del país, la Ciudad de La Habana, que es a su vez el que por sus dimensiones cuenta con la red más compleja de esta fuente.

La Ciudad de La Habana cuenta, según datos del Centro de Estudios de Población y Desarrollo del Ministerio de Economía y Planificación [4], con una población urbana de 2 168 136 habitantes (19,7% de la población del país). Sus diferentes municipios se abastecen de alrededor de 35 fuentes de agua de diferentes características, en su mayoría de origen subterráneo. Para este trabajo se han considerado las fuentes de abasto independientes, atendiendo no solamente a los orígenes del yacimiento sino también a la vía empleada para la distribución a la población. El tratamiento de las aguas para el consumo se realiza, de manera diferenciada, durante su distribución, lo cual pudiera influir en la concentración de los radionúclidos en estudio, además de que la población de algunos municipios de la ciudad es abastecida por más de una fuente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar el estudio se investigaron 14 fuentes de abasto de la Ciudad, que cubren la totalidad de los municipios capitalinos y un total de 1 465 981 habitantes, el 67,6% de la población. En cada muestreo se tomó 1L de agua procedente de la red hidráulica de abasto de una residencia. El total de muestras recogidas para el estudio fue de 20, ya que para algunas de las fuentes hubo más de un colaborador que facilitó la colección de la muestra en su residencia. Las muestras fueron colectadas en recipientes de polietileno previamente endulzados y posteriormente acidulados al llegar al laboratorio.

Cada muestra se sometió a la técnica emanométrica de determinación de radio 226 a partir de su radionúclido hijo radón 222, según lo descrito en el Manual de Procedimientos del Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental de Occidente del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) [5].

Las dosis individuales estimadas a partir de la medición de las muestras se calcularon, para cada grupo de edad, a partir de la expresión:

$$H = C_{Ra-226} * FCD_{Ra-226} * V$$

donde: H; dosis efectiva comprometida por la incorporación que ocurre en un año (Sv); C_{Ra-226} ; concentración de radio 226 en la muestra (Bq/L); FCD_{Ra-226} ; factor de conversión a dosis por incorporación de radio 226 (Sv/Bq). V, tasa media de consumo de agua (L).

Los valores de FCD_{Ra-226} utilizados para los cálculos fueron los recomendados por el Organismo Internacional de Energía Atómica [6]. Los valores de V para cada grupo de edad se estimaron conservadoramente a partir de los valores más altos encontrados en la literatura, que son los recomendados para la Comunidad Europea [7], interpolando linealmente los consumos para aquellos grupos de edades donde no aparecen definidos. El resultado de estas estimaciones fue el siguiente:

Grupo de edades (años)	Tasa de consumo (L/año)
0 - 1	260
1 - 7	350
7 - 12	465
12 - 17	560
> 17	600

Con los resultados de las dosis individuales calculadas se procedió a evaluar la dosis media de la población de la Ciudad. Se calculó primeramente la media de las dosis para cada fuente de abasto, normalizando las dosis individuales por los grupos de edades, según la distribución por edades de la población abastecida. La distribución por edades de la población para cada fuente se tomó según las proporciones en que se encuentra cada grupo de edad en la población total de la Ciudad. Estas proporciones fueron calculadas a partir de los datos estadísticos poblacionales de cada uno de sus municipios [4]. Luego de obtenida la dosis media para cada fuente se ponderó su contribución a la dosis media de la ciudad, atendiendo al número de habitantes que abastece la fuente. Para el cálculo de la incertidumbre de la dosis estimada se consideraron solamente las indeterminaciones motivadas por los errores de la medición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se recogen los resultados de las mediciones realizadas. También se presentan los resultados de los cálculos de las dosis individuales comprometidas para cada fuente de abasto por grupos de edades, debido al consumo anual de estas aguas y un estimado de la dosis media, ponderando las dosis individuales por la distribución por edades de la población abastecida.

El análisis de los resultados obtenidos en las determinaciones de radio 226 en aguas potables arroja que estas, con un índice de correlación de 0,98, se ajustan a una distribución lognormal, con una media igual a 0,09 Bq/L, una desviación estándar de 0,04 Bq/L y teniendo como 95% percentil 0,15 Bq/L.

Tomando como referencia los datos recopilados por el United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) en su reporte a la asamblea general del 2000 [1] se ha

preparado la tabla 2, que resume los intervalos reportados de concentraciones de radio 226 en las aguas por diferentes autores en la literatura internacional. Comparando los datos se aprecia que los valores obtenidos de las concentraciones para las aguas de la Ciudad de La Habana (40 - 150 mBq/L) se encuentran en el intervalo reportado por otros países. Los valores más altos del intervalo en los datos de la Ciudad de La Habana pueden explicarse, como el propio UNSCEAR puntualiza para estos casos, por la procedencia subterránea de algunas de las fuentes de abasto analizadas.

Tabla 1. Valores de concentración de actividad de radio 226 en las aguas de las fuentes estudiadas y estimación de las dosis individuales por grupos de edades

Fuente de abasto	Concentración, mBq/L	Dosis efectivas comprometidas individuales, $\mu\text{Sv/año}$					
		Menos de 1 año	1 a 2 años	2 a 7 años	7 a 12 años	12 a 17 años	Más de 17 años
Vento	100 \pm 20	120 \pm 30	34 \pm 8	22 \pm 5	38 \pm 9	80 \pm 20	17 \pm 4
Aguada del Cura	40 \pm 10	50 \pm 10	13 \pm 3	9 \pm 2	15 \pm 3	34 \pm 8	7 \pm 2
El Benigno	40 \pm 10	50 \pm 20	14 \pm 4	9 \pm 3	16 \pm 5	40 \pm 10	7 \pm 2
Managua	40 \pm 10	50 \pm 20	14 \pm 4	9 \pm 3	16 \pm 5	40 \pm 10	7 \pm 2
Lechuga	50 \pm 10	60 \pm 20	16 \pm 5	11 \pm 3	18 \pm 5	40 \pm 10	8 \pm 2
Santa Fe	50 \pm 20	60 \pm 20	17 \pm 5	11 \pm 3	19 \pm 6	40 \pm 10	9 \pm 3
El Gato	50 \pm 20	86 \pm 19	18 \pm 5	12 \pm 3	20 \pm 6	50 \pm 10	9 \pm 3
Fontanar	50 \pm 20	70 \pm 20	18 \pm 5	12 \pm 3	20 \pm 6	40 \pm 10	9 \pm 3
Las Guásimas	60 \pm 20	70 \pm 20	19 \pm 6	13 \pm 4	22 \pm 6	50 \pm 10	10 \pm 3
Cosculluela	60 \pm 20	80 \pm 20	21 \pm 6	14 \pm 4	23 \pm 7	50 \pm 20	11 \pm 3
Abel Santa María	80 \pm 20	100 \pm 30	28 \pm 8	18 \pm 5	31 \pm 9	70 \pm 20	14 \pm 4
Cotorro	110 \pm 30	140 \pm 40	40 \pm 10	24 \pm 7	40 \pm 10	90 \pm 30	19 \pm 6
Cuenca Sur	110 \pm 30	140 \pm 40	40 \pm 10	25 \pm 7	40 \pm 10	100 \pm 30	19 \pm 6
Ariguanabo	150 \pm 30	190 \pm 40	50 \pm 10	33 \pm 7	60 \pm 10	130 \pm 30	25 \pm 6

Las dosis más altas se observan en el grupo de edad de niños menores de un año a partir de los valores de los factores de conversión de dosis, resultando más significativas las dosis dentro de este grupo para las fuentes de Ariguanabo, Cuenca Sur, Cotorro y Vento.

Tabla 2. Resultados reportados de concentraciones de radio 226 en aguas en la literatura internacional (fuente - Reporte UNSCEAR 2000)

País	Concentraciones de Ra-226 en agua. (mBq/L)
China	0,2 - 120
Finlandia	10 - 49 000
Francia	7 -700
Alemania	1 - 1800
Italia	0,2 - 1800
Suiza	0 - 1500
España	<20 - 4000
Reino Unido	0 - 180

La tabla 3 presenta los estimados de las dosis comprometidas individuales para cada fuente de abasto, ponderada por la distribución de edad. En un análisis de las medias por fuente, se observan las dosis más altas en las fuentes de abasto que suministran los municipios de La Lisa, Centro Habana, Habana Vieja, Cotorro, Plaza y Playa.

El valor de la dosis media anual para un individuo ha sido estimado, a partir de estos datos y considerando la distribución de la población por las fuentes de abasto, en $21 \pm 2 \mu\text{Sv}$. Las diferencias apreciables entre las dosis medias calculadas para algunos grupos de edades y este valor se deben fundamentalmente al peso estadístico importante

Tabla 3. Evaluación de las dosis comprometidas individuales para cada fuente de abasto, ponderada por la distribución de edades

Fuente de abasto	Municipios que abastece	Población abastecida	Dosis individual por fuente $\mu\text{Sv/año}$
Vento	Centro Habana, Habana Vieja, Cerro	493 330	24 ± 4
Aguada del Cura	Santiago de las Vegas, Boyeros	64 850	10 ± 1
El Benigno	San Miguel del Padrón	54 530	10 ± 2
Managua	Managua	11 640	10 ± 2
Lechuga	Arroyo Naranjo	240	12 ± 2
Santa Fe	Santa Fe	20 000	12 ± 2
El Gato	Guanabacoa, Alamar	520 760	13 ± 2
Fontanar	Fontanar	4670	13 ± 2
Las Guásimas	Las Guásimas	3020	14 ± 2
Coscelluela	Kohly, Marianao Sur	17 797	15 ± 3
"Abel Santamaría"	Reparto "Abel Santamaría"	15 890	20 ± 4
Cotorro	Cotorro	60 180	27 ± 5
Cuenca Sur	Vedado	177 370	27 ± 5
Ariguanabo	La Lisa, Playa	21 704	36 ± 5

que desempeña la distribución poblacional del grupo de personas adultas (más de 17 años), las que constituyen el 77% de la población total. Estas diferencias también se manifiestan cuando se compara el valor medio de la Ciudad con las dosis promedio por fuente de abasto, lo cual está dado por el diferente número de consumidores que hacen uso de cada una de las fuentes.

El valor de la dosis promedio para la Ciudad es comparable al reportado como promedio por el UNSCEAR para las incorporaciones de radio 226 vía ingestión. Considerando los valores de las dosis obtenidos en los estudios desarrollados por el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones para evaluar las dosis por ingestión de aguas y alimentos, esta dosis representa un 25% de las dosis que recibe un individuo medio de la ciudad por ingestión a través de la dieta.

CONCLUSIONES

Como resultado de los estudios del impacto que sobre la población de Ciudad de La Habana tiene la incorporación del radio 226 producto del consumo de agua, se determinaron las concentraciones de éste radionúclido presentes en las fuentes de abasto de la ciudad. Las concentraciones halladas oscilan entre 0,04-0,15 Bq/L con una media de $0,09 \pm 0,04$ Bq/L. Estos valores se encuentran entre los reportados por el UNSCEAR [1], considerando la procedencia subterránea de algunas de las fuentes de abasto.

La dosis media comprometida para la población de la ciudad, considerando su distribución por edades, se estimó en 21 ± 2 mSv por el consumo de un año. Este valor constituye el 25% de la dosis por incorporación de radio 226 vía ingestión de un habitante promedio de Ciudad de La Habana.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionising Radiation: UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, United Nations, New York (2000).
- [2] Programa Conjunto FAO/OMS, Suplemento al Volumen XVII del Codex Alimentarius. Contaminantes. Niveles de orientación para radionúclidos en alimentos aplicables en el comercio internacional tras una contaminación nuclear accidental, Roma (1990).
- [3] TOMÁS, J., PRENDES, M., Evaluación de las dosis recibidas por incorporación de Ra-226 debido al consumo de aguas minerales en la República de Cuba, Protección Radiológica en América Latina y el Caribe, Memorias del III Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear, Lima (1996).
- [4] Centro de Estudios de Población y Desarrollo, Estudios y datos sobre la población cubana, Publicación No. 24, La Habana (1994).
- [5] Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, PR/PRA/LVRA/06: Determinación emanométrica de Ra-226 en aguas no salinas. Manual de Procedimientos del Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental, La Habana (1997).
- [6] International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection against Ionising Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, Vienna (1996).
- [7] European Commission, Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment, Radiation Protection 72, Report EUR 15760 EN, Brussels (1995).

METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS PROBABILISTAS DE SEGURIDAD A LAS UNIDADES DE COBALTOTERAPIA EN CUBA

*Juan José Vilaragut Llanes, Rubén Ferro Fernández, Mayra Troncoso Fleitas
Bertha Lozano Lima, Andrés de la Fuente Puch, Yolanda Pérez Reyes, Cruz Duménigo González
Centro Nacional de Seguridad Nuclear, Ciudad de La Habana, Cuba*

Palabras clave: safety análisis, radiotherapy, cobalt 60, gamma radiation, nuclear medicine, risk, assesment

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la seguridad ha descansado tradicionalmente en el enfoque prescriptivo, es decir, la evaluación del cumplimiento de determinados códigos y normas que resumen los resultados de la evidencia histórica, la investigación y el desarrollo en un momento dado, así como la comprobación mediante análisis deterministas en los que se utilizan las hipótesis más desfavorables para comprobar que ante el peor accidente previsible no ocurren consecuencias radiológicas graves y por tanto se garantiza que los resultados de las evaluaciones queden del lado de la seguridad. Este enfoque tiene a favor que la demostración de correspondencia es relativamente directa, a la vez que asegura niveles aceptables de seguridad, integridad y fiabilidad. El método determinista es incontestable, sin embargo posee limitaciones que hacen conveniente el uso de un enfoque complementario para la evaluación. Entre estas limitaciones están:

- Las regulaciones descansan en requisitos precisos y detallados, por lo que tienen una rigidez intrínseca que puede ser rápidamente rebasada por nuevos desarrollos tecnológicos.
- Los factores humanos y organizacionales que influyen en la seguridad son poco propensos a la evaluación prescriptiva.
- El enfoque prescriptivo puede inhibir la innovación y la búsqueda de soluciones más óptimas para incrementar la seguridad.
- Posee el riesgo de que el diseñador o el operador puede no entender la esencia o razón de ser de las regulaciones, preocupándose simplemente por su cumplimiento. Este enfoque promueve una cultura de cumplimiento más

que la búsqueda de la seguridad máxima factible por los medios mejores posibles.

Existe otro enfoque complementario de evaluación de la seguridad denominado análisis probabilista de seguridad (APS), que utiliza herramientas conceptuales y matemáticas para realizar una investigación sistemática, exhaustiva y estructurada de los diferentes escenarios de riesgos que pueden conducir a un evento no deseado (secuencias accidentales) a partir de la ocurrencia de fallos de equipos o errores humanos (sucesos iniciadores de accidentes).

En las últimas dos décadas, el APS ha sido ampliamente utilizado en el sector nucleoeenergético, se realizan decenas de estudios en los países con centrales nucleares, y se obtienen positivos resultados para la toma de decisiones en materia de seguridad, como complemento de los métodos deterministas.

El principal objetivo de un APS consiste en proporcionar información cualitativa y cuantitativa acerca de las interioridades del diseño y funcionamiento de una instalación, incluyendo la identificación de los contribuyentes al riesgo y comparación de opciones para incrementar la seguridad. Es decir, la finalidad de un APS se puede resumir en:

- Determinar y precisar las combinaciones de sucesos que pueden conducir a un accidente o evento no deseado .
- Evaluar la probabilidad de que se produzca cada combinación.
- Evaluar las consecuencias.

Con este fin, la metodología de APS integra información sobre el diseño, prácticas de operación y funcionamiento, historial operacional, fiabilidad de equipos y componentes, comportamiento humano, fenómenos que favorecen un accidente y efectos potenciales.

Toda esta información se utiliza para lograr que los posibles incidentes, deficiencias, errores y vulnerabilidades de la instalación, proporcionen un panorama equilibrado de su efecto sobre la seguridad, así como la importancia relativa de las contribuciones al riesgo de las secuencias de accidente que podrían iniciarse a causa de fallos en el equipo o las modalidades de operación.

METODOLOGÍA PARA LA EJECUCIÓN DEL APS

Para cualquier instalación o práctica, la realización de un análisis probabilista de seguridad comprende las seis etapas fundamentales que se representan en el diagrama en bloques de la figura 1.

Aunque en principio los métodos de APS son aplicados a cualquier tipo de instalación, existe un grupo de aspectos que requieren profundizarse para garantizar su plena utilización metodológica, teniendo en cuenta los siguientes elementos:

1. Alcance del estudio.
2. Naturaleza y complejidad de la instalación.
3. Grado de introducción del APS en instalaciones similares.
4. Disponibilidad y detalle de los análisis deterministas de seguridad.
5. Idoneidad de los modelos para la instalación.
6. Disponibilidad y calidad de los datos de fiabilidad.
7. Incidencia e importancia del factor humano en las secuencias accidentales a estudiar.

La aplicación del APS a la cobaltoterapia será en gran medida un análisis específico y detallado de los factores humanos que intervienen en las secuencias accidentales, porque las exposiciones potenciales que se identifiquen serán mayoritariamente generadas por actuaciones humanas.

Teniendo en cuenta las limitaciones que existen para la estimación de las probabilidades de errores humanos y considerando que es muy elevado el número de posibles actuaciones humanas, el APS deberá utilizar con mayor precisión las técnicas cualitativas de identificación de peligros y la evaluación de las incertidumbres en las probabilidades asignadas.

Por esta razón, a pesar de la existencia de documentos metodológicos para la realización de un APS y de su utilidad práctica, se han adaptado para los análisis probabilistas de seguridad a las prácticas de cobaltoterapia en Cuba las diferentes etapas para la aplicación del estudio, según se presenta en el diagrama en bloques de la Fig. 2.

En sentido general, la metodología tiene en cuenta los siguientes puntos:

- Identificación de peligros o accidentes con consecuencias importantes que pueden tener lugar durante el tratamiento con cobaltoterapia (estado de daño).
- Identificación de cómo se pueden iniciar las secuencias de sucesos que lleven a los estados de daño identificados (sucesos iniciadores de accidente). Para ello se combinarán diferentes métodos, que de una forma sistemática y exhaustiva garanticen que la posible ausencia de un suceso iniciador de accidente no tendrá un aporte relativo significativo, con respecto a todos los considerados en el estudio.
- Determinación de los efectos sobre el paciente, el trabajador ocupacionalmente expuesto y el público, a partir del análisis de los modos de fallos de los equipos y los posibles errores humanos en las diferentes etapas del tratamiento con cobaltoterapia.
- Desarrollo de los árboles de sucesos que representen las secuencias posibles.
- Análisis, por medio de los árboles de fallos de los cabeceros modelados en los árboles de sucesos.
- Cuantificación de las probabilidades asociadas a los sucesos iniciadores y a los sucesos básicos en los árboles de fallos.
- Análisis de la fiabilidad de las acciones humanas que figuren en los sucesos iniciadores, en los árboles de sucesos o en los árboles de fallos
- Cuantificación de las frecuencias anuales de las diversas secuencias y peligros identificados en el primer paso.

Para esta primera etapa del estudio, no se realizarán ex profeso estudios médicos detallados de los accidentes identificados y las secuencias modeladas, así como no se cuantificarán en términos económicos o de daños humanos las consecuencias consideradas en los estados de daño, por lo que no se integrará el riesgo desde el punto de vista cuantitativo, aunque sí será válido desde el punto de vista cualitativo. Es decir, en esta primera etapa, el estudio solo tendrá un alcance de análisis probabilista de seguridad (APS) y no de un análisis probabilista de riesgo (APR).

ÁMBITO REGULATORIO

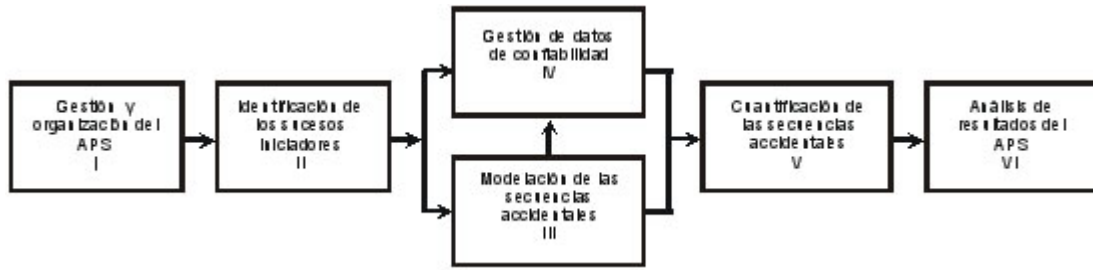


Figura 1. Pasos para la Ejecución del APS.

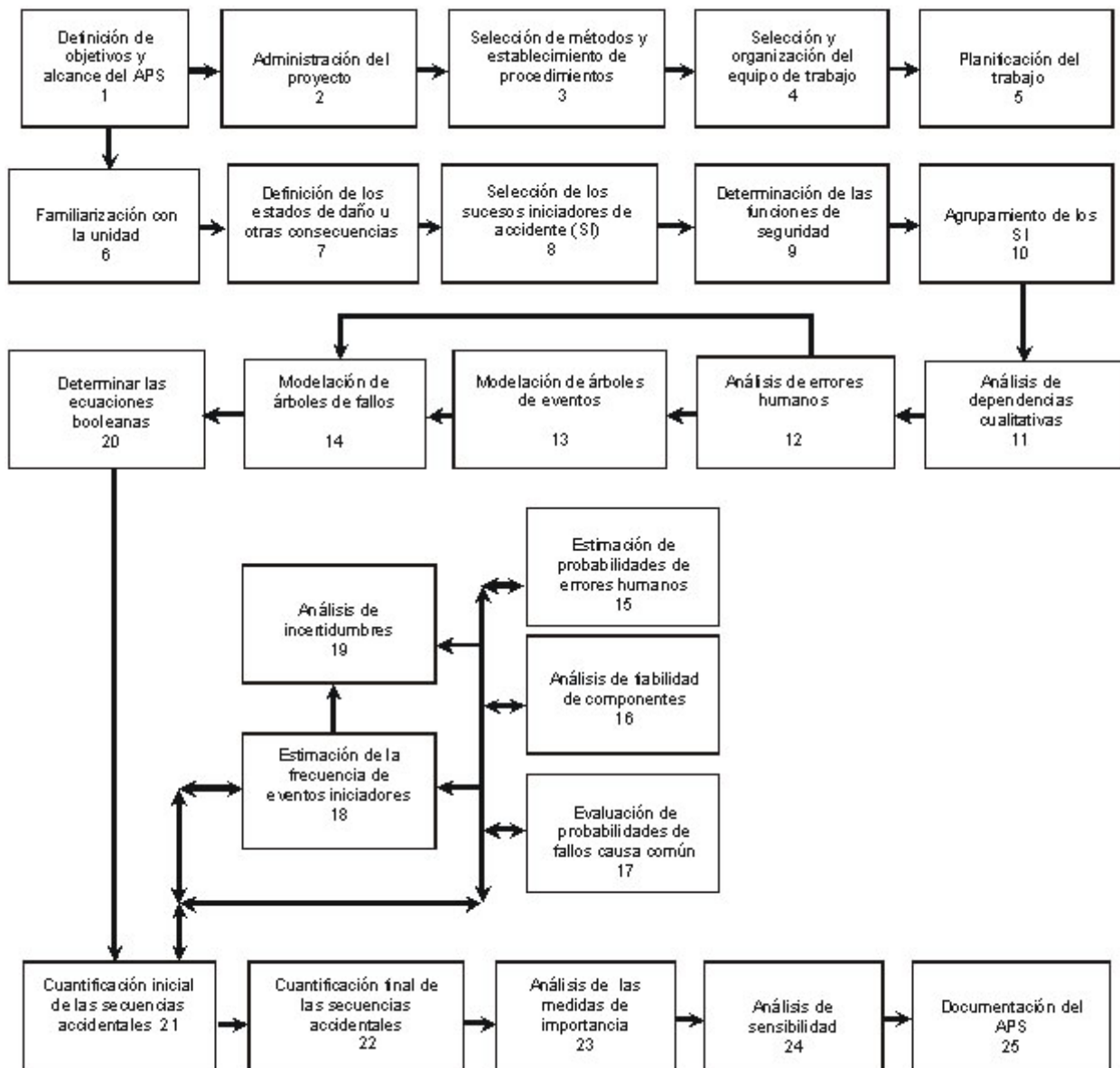


Figura 2. Diagrama en bloques de la guía.

CONCLUSIONES

El trabajo resume los principales elementos considerados durante la realización de la guía metodológica para la aplicación de las técnicas de análisis probabilista de seguridad (APS) a las unidades de cobaltoterapia en Cuba. Este documento constituye el primer resultado de un proyecto de investigación para la evaluación de la seguridad del paciente durante la práctica de cobaltoterapia en el país.

La metodología incluye la aplicación conjunta de más de cinco técnicas de identificación de riesgos, que posibilitarán el análisis exhaustivo, sistemático y estructurado de la práctica en Cuba.

A su vez, la guía podrá ser utilizada por nuestro órgano regulador como material de referencia

durante la evaluación de estudios similares que se realicen en el país como parte del proceso de licenciamiento de las diferentes instalaciones radiactivas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Centro Nacional de Seguridad Nuclear, Guía Metodológica para la realización de Análisis Probabilista de Seguridad a la práctica con cobaltoterapia en Cuba, La Habana (2000).
- [2] International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, Vienna (1994).
- [3] Centro Nacional de Seguridad Nuclear, Manual de Instrucciones y Procedimientos de Análisis de Seguridad, La Habana (1999).
- [4] International Commission on Radiological Protection, Protection from Potential Exposures: Application to Selected Radiation Sources, ICRP Publication 76 (1996).

CONTROL DE CALIDAD AL SERVICIO DE RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA EN POLICLÍNICOS Y HOSPITALES DE SANTIAGO DE CUBA

Reinaldo Griñán Torres, Héctor Parra Caboberde, Lino A. Semanat Sánchez
Centro Provincial de Higiene y Epidemiología, Santiago de Cuba, Cuba

Resumen

El trabajo presenta los resultados obtenidos en el control de calidad realizado a 33 salas de rayos X diagnóstico. Se incluyen los controles al generador de rayos X, al tubo, a los dispositivos de colimación y alineación, así como a los sistemas de visualización (negatoscopios), cuartos oscuros, almacenes de películas, procesadoras, cartulinas intensificadoras y chasis. Además se presentan los resultados del control de las dosis impartidas a los pacientes en proyecciones radiográficas estándar (tórax, columna lumbar, abdomen, cráneo y pelvis), mediante la determinación de las dosis de entrada para un paciente de referencia.

Para la evaluación de los parámetros técnicos verificados se tomó como referencia los criterios de tolerancia recomendados por la guía técnica elaborada por el Centro de Control Estatal de Equipos Médicos de la República de Cuba. En los niveles de dosis se tomó como niveles orientativos los recomendados por las Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación.

QUALITY CONTROL TO THE SERVICE OF DIAGNOSTIC RADIOLOGY IN POLICLINICS AND HOSPITALS OF SANTIAGO DE CUBA

Abstract

The work presents the results obtained in the quality control in diagnostic X-ray equipment accomplished in 33 clinics of Santiago de Cuba city. The performed test were, to the X-ray generator, X-ray tube, devices colimation and alignment, as well as to the light boxes, dark rooms, and radiographic screen-film combinations. Moreover the work presents the results of the Entrance Doses for a reference patient in radiographic projections of frequent use in clinics of Santiago de Cuba city (chest, lumbar spine, abdomen, and pelvis).

For the evaluation of the verified technical parameters were used the tolerance criterions recommended by the technical guide elaborated by the State Control Center of Medical Equipment of Cuba. In the case of the entrance dose were used the dose levels that recommended by the International Basic Safety Standards for protection against ionizing radiation and for safety of radiation sources.

Palabras clave: quality control, X-ray radiography, biomedical radiography, radiation doses, radiation protection, maximum permissible level, X-ray equipment, radiation dosimetry

INTRODUCCIÓN

Desde que se decide captar una estructura anatómica hasta que se realiza el diagnóstico sobre la imagen, se realiza una compleja actividad en la que participan diferentes procesos físicos, químicos, equipos y especialistas. A cada posible fallo en algunos de estos elementos cabe asociar un detrimento en la calidad de la imagen final o un aumento en la dosis de radiación que recibe el paciente. Por todo esto se hace necesario realizar programas de controles de calidad. La experiencia internacional ha demostrado los beneficios que se obtienen como

resultado de la implementación de estos controles y que se concretan en una mayor vida útil de los equipos de rayos X, en un uso más efectivo de las dosis impartidas a los pacientes, una disminución en el riesgo al personal de operación, un menor consumo de películas radiográficas y productos químicos del proceso de revelado, así como un menor número de paradas imprevistas.

En ocasión de ser aprobado el proyecto Fortalecimiento del Sistema Nacional de Protección Radiológica y Control de Calidad en Radiodiagnóstico, auspiciado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) se ha

comenzado en la provincia de Santiago de Cuba la ejecución de estos controles.

En este trabajo se presentan los resultados del control de calidad realizado a 33 salas de rayos X diagnóstico del municipio Santiago de Cuba. En el mismo se incluyeron pruebas al generador de rayos X, al tubo, a los dispositivos de colimación y alineación, así como a los sistemas de visualización (negatoscopios), cuartos oscuros, almacenes de películas, procesadoras, cartulinas intensificadoras y chasis. Además, se determinaron las dosis de entrada para un paciente de referencia en proyecciones radiográficas estándar (tórax, columna lumbar, abdomen, cráneo, y pelvis).

Los objetivos que nos propusimos fueron:

-Caracterizar el estado técnico de los equipos de rayos X y sus accesorios, e identificar las causas de las afectaciones.

-Determinar si la dosis de entrada de un paciente de referencia sometido a exámenes radiográficos frecuentes puede ser valorada respecto a los niveles de dosis que recomiendan las Normas Básicas Internacionales de Seguridad (NBIS).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron un total de 33 equipos de rayos X, que representan el 57% del total de los existentes en la provincia de Santiago de Cuba. Estos se encuentran ubicados en 12 policlínicos y ocho hospitales del municipio Santiago de Cuba. El control se realizó tomando como guía técnica los procedimientos elaborados por el Centro de Control Estatal de Equipos Médicos del Ministerio de Salud Pública de la República de Cuba [1,2]. Se midieron los siguientes parámetros funcionales: exactitud de la escala indicadora de distancia foco-película (DFI), coincidencia de los campos del haz de radiación y del haz luminoso, perpendicularidad mesa, tubo de rayos X, medición del tamaño del punto focal, exactitud y reproducibilidad de la tensión, filtración mediante la determinación de la capa hemirreductora (CHR), reproducibilidad, linealidad y valor del rendimiento, exactitud y reproducibilidad del tiempo de exposición.

Además, se determinó la dosis de entrada en la superficie del paciente (DES) de manera indirecta a partir de la medición con un detector semiconductor (acoplado al electrómetro DIADOS) en aire libre resultante, al reproducir las condiciones de exposición para un paciente adulto de referencia de 70 kg de masa corporal. En el control al sistema de visualización, cuarto oscuro y procesamiento radiográfico, se comprobó el estado de los negatoscopios verificando la uniformidad en la iluminación de los mismos y las

condiciones de iluminación en sus proximidades, se comprobó la organización, limpieza, hermeticidad y condiciones de ventilación del cuarto oscuro, así como la ubicación de las lámparas de seguridad y prueba de velado por luces de seguridad. En el almacén de película se verificaron las condiciones ambientales a las que están expuestas las cajas de películas (temperatura y humedad) y la manera que éstas se encuentran colocadas. Se realizaron pruebas de hermeticidad a los chasis e inspección visual para comprobar su limpieza.

Para este control se utilizaron los siguientes instrumentos de medición y dispositivos: kilovoltímetro digital no invasivo PTW, Freiburg; electrómetro DIADOS PTW, Freiburg; detector semiconductor DIADOS PTW, Freiburg; filtros de aluminio de alta pureza; patrón de estrella; diámetro 45 mm, espesor 0,05 mm, Pb, ángulo 2°; cinta métrica, cinta adhesiva, termómetro y densitómetro.

RESULTADOS

En la Fig. 1 se presenta el porcentaje de equipos de rayos X defectuosos por parámetros medidos. Como se aprecia, las mayores dificultades se detectaron en el tiempo de exposición ya que el 62% de los equipos de rayos X verificados presentó desviaciones fuera de la tolerancia de su exactitud. Otro parámetro con grandes dificultades fue la inexactitud de la tensión, ya que se detectaron desviaciones fuera de la tolerancia en un 47% de los equipos.

El tercer parámetro con mayores dificultades fue el rendimiento, en el que se obtuvo un 37% de equipos que estuvieron fuera del margen de tolerancia. Una filtración inadecuada afectó a un 28% de los equipos.

La tabla 1 presenta los resultados de la distribución de las dosis de entrada en pacientes para las proyecciones radiográficas de mayor frecuencia. En ella se puede observar que la dosis de entrada promedio en cada una de las proyecciones se encuentra por debajo de los niveles orientativos de dosis que recomienda el OIEA en las NBIS [3].

Con relación al proceso de revelado las mayores dificultades se encontraron: en la falta de hermeticidad a la luz blanca, falta de filtros en las lámparas de seguridad, falta de ventilación de los cuartos oscuros, la diversidad de películas y pantallas que se reciben en los departamentos, que muchas veces no son compatibles unas con otras en lo referido al espectro de luz y la gama de velocidades. Además en el 90% de los departamentos de radiología se encontraron negatoscopios con brillo por debajo de los criterios de tolerancia, así como poca uniformidad en su iluminación.

ÁMBITO REGULATORIO

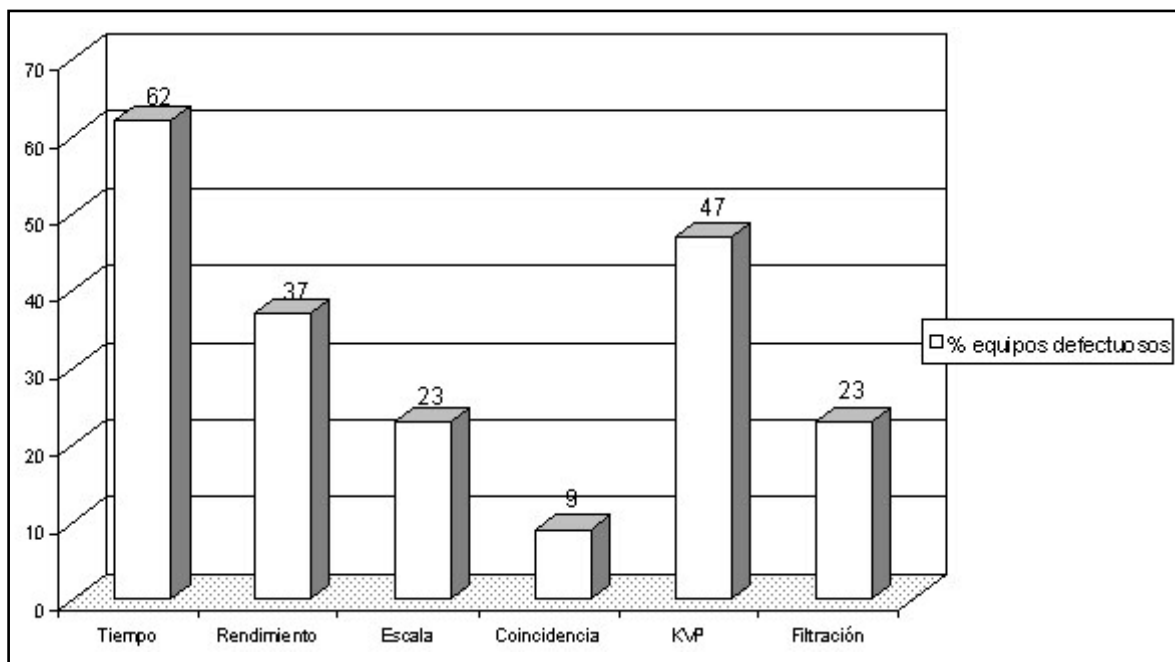


Figura 1. Porcentaje de equipos defectuosos por parámetros técnicos medidos.

DISCUSIÓN

Como se muestra en la tabla 1 el porcentaje de equipos que sobrepasan los niveles orientativos es el 24%. Estos niveles orientativos de dosis son los recomendados por las NBIS [3].

Se comprobó que de estos equipos el 71% presentó desviación del tiempo y de la tensión, y el 28% presentó filtración inadecuada; o sea que los parámetros que más influyeron en la sobredosis de la radiación a los pacientes fueron el tiempo y la filtración inadecuada. Además, estas desviaciones provocaron la obtención de imágenes de baja calidad. Esta evaluación fue corroborada por un panel de expertos durante el estudio sobre la calidad diagnóstica en departamentos de radiología del Sistema Nacional de Salud de Cuba [4]. Estos

resultados son comprensibles pues son equipos en su mayoría (90%) con más de 20 años de explotación y sin un programa de mantenimiento preventivo, a lo cual se une el desconocimiento de los aspectos de control de calidad por parte del personal técnico.

La tabla 1 muestra que la mayoría de los equipos controlados cumple con los niveles orientativos y sólo el 24% no cumplen. Esto se corresponde con el criterio de la Comisión de las Comunidades Europeas [2,5] que plantea que si el 75% de los equipos cumple con los niveles orientativos, el porcentaje restante debe corregir los problemas técnicos propios del equipo o debe corregirse la técnica aplicada en las diferentes proyecciones radiográficas para reducir adecuadamente las dosis sin detrimento en la calidad del diagnóstico.

Tabla 1. Distribución de las dosis de entrada en pacientes por proyecciones radiográficas

Proyección radiográfica	DES promedio (mGy)	Porcentaje de equipos que sobrepasan los niveles orientativos	Niveles orientativos de DES (mGy)
Tórax PA	0,38	24	0,4
Columna lumbar LAT	14,84	20	30
Abdomen	7,96	23	10

CONCLUSIONES

El control permitió conocer que los equipos evaluados presentan un estado técnico inaceptable en el que se identificaron como principales causas la inexactitud del tiempo de exposición, la tensión y el bajo rendimiento.

Los resultados de este control de calidad han sido determinantes para el ajuste del equipamiento de rayos X, lo que contribuyó a una mejora de la calidad de la imagen junto a una reducción de dosis de radiación impartida a los pacientes.

Los resultados demostraron que se pueden adoptar los niveles de dosis en pacientes que

recomienda el OIEA en las condiciones actuales que presenta la provincia de Santiago de Cuba.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Procedimiento de control de calidad para equipos de radiografía GT-7, CCEEM (1997).
- [2] Criterios de calidad de las imágenes en radiodiagnóstico, CCE (Comisión de las Comunidades Europeas) Bruselas (1990).
- [3] International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for protection against ionizing radiation and for safety of radiation sources, Series No.115 (1996).
- [4] Informe final del estudio sobre la calidad diagnóstica en departamentos de radiología del Sistema Nacional de Salud de Cuba. CCEEM (2001).
- [5] Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico (1996).

RECOMENDACIONES A LOS AUTORES

PARA PUBLICAR EN LA SECCIÓN CIENCIAS NUCLEARES

Los artículos deben tener una extensión máxima de 10 cuartillas incluidas tablas (un máximo de 5) e ilustraciones (un máximo de 5). El total de líneas por páginas es 30 como máximo, escritas a 60 golpes de máquina. Los artículos deben comprender, en el siguiente orden, el resumen (en español e inglés), la introducción, el texto principal (materiales y métodos, resultados, discusión), las conclusiones y recomendaciones, los agradecimientos y la bibliografía. Estas secciones deben estar bien definidas, aunque no necesariamente con subtítulos.

Los artículos están sujetos a arbitraje y a la aprobación del Consejo Editorial.

Autor (es): Especificar nombres y dos apellidos así como la institución de procedencia.

Título: No debe exceder de 100 letras, o 15 palabras, ni contener abreviaturas, fórmulas químicas, ni nombres patentados (en lugar de genéricos). Debe aparecer en español e inglés.

Resumen: No debe exceder de 150 palabras, ni contener siglas, abreviaturas ni referencias bibliográficas. Debe aparecer en español e inglés.

Bibliografía: Debe enumerarse con números arábigos entre corchetes al final del trabajo. Los títulos de las publicaciones periódicas deben adecuarse al sistema INIS (véase EAEA-INIS-11). No deben incluirse las referencias a trabajos no publicados. Cuando una referencia de esta clase sea absolutamente esencial, podrá incluirse en el texto entre paréntesis. Las referencias en el texto deben hacerse con números entre corchetes en el lugar en que se apliquen y siguiendo un orden consecutivo.

Abreviaturas, siglas y símbolos: Deben ser los aceptados internacionalmente. Las abreviaturas y siglas deben explicarse la primera vez que se mencionan. Los símbolos y caracteres griegos, al igual que los subíndices y supraíndices, deben definirse claramente.

Tablas: Deben ordenarse con numeración arábiga e incluirse al final del trabajo. Las fotografías deben presentarse en forma de copia positiva y con el contraste necesario para que en el proceso de reproducción no pierdan claridad. Los términos, las abreviaturas y los símbolos utilizados en las figuras deben ser los mismos que aparecen en el texto. No utilice caracteres, ni símbolos poco frecuentes (son preferibles los círculos, cuadrados o triángulos en blanco o rellenos). Si son muy complejos deben aclararse en una leyenda concisa. Los símbolos y caracteres deben ser claros y de tamaño suficiente, de manera que al reducirlos para la publicación sean legibles.

Ecuaciones y fórmulas: Deben escribirse con precisión, en especial los subíndices y supraíndices. Evite el uso de exponentes complicados y la repetición de expresiones elaboradas.

Unidades: Como norma general deberá emplearse el Sistema Internacional de Unidades y prescindir de símbolos y abreviaturas inadecuados.

PARA PUBLICAR EN OTRAS SECCIONES

Los artículos de las demás secciones de la revista deben tener como objetivo la difusión, con rigor científico y de forma asequible al público en general, de temas relacionados con la energética nuclear, las diversas aplicaciones de las técnicas nucleares, la seguridad nuclear, la protección radiológica, salvaguardias y no proliferación, energía nuclear e información pública, entre otros. Los trabajos no deben exceder las 10 cuartillas, incluidas ilustraciones y tablas. En las tablas e ilustraciones se seguirán las mismas indicaciones que rigen para los artículos de la sección Ciencias Nucleares.

RECOMENDACIONES A LOS AUTORES

Los artículos están sujetos a la aprobación del Consejo Editorial.

INFORMACIÓN GENERAL

Los trabajos que no se acepten se devolverán al autor.

Los artículos se entregarán en disquetes en Word. El texto, las tablas y las figuras se incluirán en ficheros independientes.

Los autores recibirán de forma gratuita un ejemplar de la revista donde aparece publicado su artículo.

VÍAS DE PRESENTACIÓN:

en la redacción de la revista:

Calle 20, No. 4111 e/ 18A y 47, Playa, Ciudad de La Habana

por fax: (537) 204 1188

por correo electrónico: nucleus@cubaenergia.cu

UD. PUEDE ADQUIRIR LA REVISTA NUCLEUS MEDIANTE COMPRA O SUSCRIPCIÓN

PRECIOS

Venta de ejemplares sueltos: \$10.00 (igual en MN que en USD) cada ejemplar.

Suscripción anual (2 Nos. al año)

\$ 16.00 MN

\$ 19.00 USD para América

\$ 20.00 USD para el resto del mundo

FORMAS DE EFECTUAR EL PAGO

◆ En efectivo

◆ Mediante cheque con los siguientes datos

PAGO EN MN

◆ Nombre: Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía

◆ No. de cuenta 40242110091013

PARA PAGOS EN USD

◆ Nombre CITMA-Nuclear

◆ No. de cuenta: 0008555