

nucleus

ISSN 2075-5635
on line

No. 69, 2021

Publicación semestral

Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada de Cuba
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

En este número:

**40 Aniversario
del InSTEC**



www.cubaenergia.cu/nucleus/nucleus.htm

Panorama Nuclear

InSTEC: Contribución a las ciencias y las tecnologías nucleares desde la formación de profesionales	1
Abel Fundora Cruz, Lidia Lauren Elías Hardy, Nadina Tomas Cobas, Eva Maria Cruz Cerna, Daniel Codorniú Pujals, Maykel Márquez Mijares, Luis Enrique Llanes Montesino	
Estatus de la formación académica en temas de protección radiológica en el InSTEC-UH: logros y retos	7
Alina Gelen Rudnikas, Amaya Ofelia Casanova Díaz, Adlín López Díaz, Oscar Díaz Rizo, Antonio Torres Valle, Rodolfo Alfonso Laguardia, Lidia Lauren Elías Hardy	
Contribución de la gestión tecnológica a la gestión del conocimiento: una propuesta.	11
Lidia Lauren Elías Hardy	
Estrategia de gestión del conocimiento nuclear desde la Red de Jóvenes Nucleares de Cuba.	19
Luis Enrique Llanes Montesino, Berta García Rodríguez, Lidia Lauren Elías Hardy, Florentino Arnaldo López Núñez	

Ciencias Nucleares

Integración de las técnicas analíticas nucleares en la caracterización de peloides cubanos. Caso de estudio: San Diego de los Baños.	25
Margaret Suárez Muñoz, Oscar Díaz Rizo, Patricia González Hernández, Clara Melián Rodríguez, Alina Gelen Rudnikas, Cristina Díaz López, Aurora Pérez-Gramatges, Nadia Martínez-Villegas, Josiel de Jesús Barros Cossio, Wael Badawy, Marina Frontasieva, Keila Isaac Olive, Rebeca Hernández Díaz	
Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos y polvos urbanos del pueblo de Regla (La Habana, Cuba) mediante fluorescencia de rayos X.	31
Oscar Díaz Rizo, Víctor J. Caraballo Arroyo, César E. García Trápaga	
Estudios de personalidad y de percepción de riesgo aplicados a los peligros ocupacionales durante empleo de fuentes de radiaciones ionizantes.	37
Antonio Torres Valle, Ana Teresa Carbonell Siam, Lidia Lauren Elías Hardy	
SECURE-MR-FMEA código cubano para análisis integral de riesgo de prácticas con radiaciones ionizantes	44
Antonio Torres Valle, Zayda Amador Balbona, Rodolfo Alfonso Laguardia, Lidia Lauren Elías Hardy	

Revistas certificadas como Publicaciones Seriadas Científico-Tecnológicas	56
Instrucciones a los autores	59

summary

Nuclear Outlook

InSTEC: Contribution to nuclear sciences and technologies from the training of professionals.	1
Abel Fundora Cruz, Lidia Lauren Elías Hardy, Nadina Tomas Cobas, Eva Maria Cruz Cerna, Daniel Codorníu Pujals, Maykel Márquez Mijares, Luis Enrique Llanes Montesino	
Status of academic training in radiation protection issues at InSTEC-UH: achievements and challenges.	7
Alina Gelen Rudnikas, Amaya Ofelia Casanova Díaz, Adlín López Díaz, Oscar Díaz Rizo, Antonio Torres Valle, Rodolfo Alfonso Laguardia, Lidia Lauren Elías Hardy.	
Contribution of technology management to knowledge management: a proposal.	11
Lidia Lauren Elías Hardy	
Nuclear knowledge management strategy from Cuban Nuclear Youth Network.	19
Luis Enrique Llanes Montesino, Berta García Rodríguez, Lidia Lauren Elías Hardy, Florentino Arnaldo López Núñez	

Nuclear Sciences

Integration of the nuclear analytical techniques for the characterization of Cuban peloids. Case of study: San Diego de los Baños.	25
Margaret Suárez Muñoz, Oscar Díaz Rizo, Patricia González Hernández, Clara Melián Rodríguez, Alina Gelen Rudnikas, Cristina Díaz López, Aurora Pérez-Gramatges, Nadia Martínez-Villegas, Josiel de Jesús Barros Cossio, Wael Badawy, Marina Frontasieva, Keila Isaac Olive, Rebeca Hernández Díaz	
Assessment of heavy metal pollution in urban soils and dusts from Regla town (Havana, Cuba) using X-ray fluorescence analysis.	31
Oscar Díaz Rizo, Víctor J. Caraballo Arroyo, César E. García Trápaga	
Studies of personality and risk perception applied to occupational risks during use of ionizing radiation sources	37
Antonio Torres Valle, Ana Teresa Carbonell Siam, Lidia Lauren Elías Hardy	
SECURE-MR-FMEA Cuban code for comprehensive risk analysis of practices with ionizing radiation.	44
Antonio Torres Valle, Zayda Amador Balbona, Rodolfo Alfonso Laguardia, Lidia Lauren Elías Hardy	
Magazines certified as serial scientific and technological publications	56
Information for authors	59

Consejo editorial

Dra. en Ciencias Físicas Angelina Díaz García, Dr. en Ciencias Químicas José Morín Zorrilla, Dr. en Ciencias Médicas Juan Cárdenas Herrera, Dr. en Ciencias Médicas Juan Perfecto Oliva, Dr. en Ciencias Químicas Juan Jaen Osorio, Dr. en Ciencias Físicas Juan Luis François Lacouture, Dr. en Ciencias Físicas Luis Felipe Desdín García, MSc. en Ingeniería Nuclear Manuel Fernández Rondón, Dr. en Ciencias Físicas Oscar Díaz Rizo, Dr. en Ciencias Biológicas Omar García Lima, Dr. en Ciencias Ramón B. Pomés Hernández, MSc. en Ingeniería Nuclear Ramón R. Cardona, Dr. en Ciencias Físicas Ramiro J. Guerra Valdés, Dr. en Ciencias Físicas Raúl Oscar Barrachina Tejada

Equipo editorial

Director: Henry Ricardo Mora / **Editor Jefe:** Luis Felipe Desdín García / **Redactor Técnico:** Ramiro J. Guerra Valdés / **Edición:** Lourdes González Aguiar / **Diseño:** D.I. Liodibel P. Claro Drake / **Traducción:** Odalys González Solosabal, Marietta Crespo Pérez / **Indización INIS:** Iraida Oviedo Rivero / **Referencias:** Miriam Amado Picasso / **Fotomecánica:** Alain Ciérvides Sánchez / **Producción:** Maikel Carrero Pérez / **Encuadernación:** María Cristina Herrera Rosell, Lázara Pérez Díaz

Revista arbitrada, certificada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Referenciada en las Bases de Datos INIS, CUBACIENCIAS Periódica, en el Sistema de Información LATINDEX, ULRICH'S, EBSCO, SciELO e INFORMNAUKA.

InSTEC: Contribución a las ciencias y las tecnologías nucleares desde la formación de profesionales

Abel Fundora Cruz, Lidia Lauren Elías Hardy, Nadina Tomas Cobas, Eva Maria Cruz Cerna, Daniel Codorniú Pujals, Maykel Márquez Mijares, Luis Enrique Llanes Montesino

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de La Habana, Cuba

abel@instec.cu, lauren@instec.cu, nadina@instec.cu, dcodorni@instec.cu, mmarquez@instec.cu, enrique@instec.cu

Resumen

El presente trabajo muestra la contribución de la formación de los profesionales nucleares y de la actividad de ciencia e innovación al desarrollo de la ciencia y las tecnologías nucleares así como a otras áreas del conocimiento. Algunos indicadores de la calidad de la formación de profesionales y de la educación de posgrado, la presencia de la mujer, así como, resultados obtenidos en la actividad científica son presentados.

Palabras clave: instalaciones educativas; Cuba; cultura de seguridad; mujeres; personal científico; educación; radioquímica; física nuclear; ingeniería nuclear.

InSTEC: Contribution to nuclear sciences and technologies from the training of professionals

Abstract

This work shows the contribution of the preparation of the education of nuclear professionals in Cuba and of the science and innovation activities to the development of nuclear sciences and technologies and to other knowledge fields. Some quality indicators of the education process, the women presence and the scientific results are discussed.

Key words: educational facilities; Cuba; safety culture; women; scientific personnel; education; radiochemistry; nuclear physics; nuclear engineering

Introducción

En la conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista se establece que “en la planificación del desarrollo económico y social son situados en un primer plano la formación, calificación y gestión integral del potencial humano, así como el papel de la ciencia, la tecnología y la innovación en todas las instancias, con una visión que asegura desde el corto y mediano plazos los objetivos estratégicos”. Asimismo, reconoce que la prosperidad y el bienestar de los ciudadanos están vinculados entre otros factores a “los resultados de la ciencia, la tecnología y la innovación”[1].

Hoy en día, la energía nuclear es una tecnología madura y altamente desarrollada. Al respecto, Castro subraya que existe una sólida base de experiencia y desarrollo. Asimismo, reconoce que la ciencia nuclear, base de la energía nuclear, es común a todas las demás aplicaciones nucleares con fines pacíficos en la medicina, la agricultura, la industria, la ciencia y otras esferas, lo que hace que las aplicaciones aporten un buen número de beneficios a la sociedad [2].

La introducción de técnicas nucleares en diversos sectores de la economía nacional, la medicina, las investigaciones y los servicios científico – técnicos tiene sus antecedentes en la constitución de la Comisión Nacional de Aplicaciones de la Energía Atómica a Usos Civiles, en el año 1947, por el Decreto 4054 (2) firmado por el presidente Ramón Grau San Martín. Entre sus objetivos se encontraba, además de, la investigación de la energía atómica y sus aplicaciones en usos no militares, fundamentalmente con fines médicos y en otros sectores de la economía, el otorgamiento de becas y viajes de estudios a especialistas para su perfeccionamiento, así como determinar y prescribir las condiciones de protección radiológica entre otros [3]. Sin embargo, pocos fueron los resultados obtenidos, pues aunque se introdujeron algunos equipos y técnicas nucleares en la medicina y radioisótopos en la economía, fueron pocos, aislados y por intereses personales de los especialistas. Con relación a la superación de los especialistas, fueron pocos los que pudieron realizar alguna acción y fue a título personal o con ayuda de sociedades privadas como la Liga contra el Cáncer [3].

El poco conocimiento sobre el manejo de estas técnicas y las medidas de protección necesarias durante su aplicación, la falta de apoyo y la carencia de recursos condujo a que a mediados de la década de 1950 el presidente Fulgencio Batista disolviera esa comisión y creara la Comisión de Energía Nuclear de Cuba. Un nuevo objetivo se adiciona a los de su predecesora comisión: el estudio de las posibilidades de instalar reactores nucleares en el país y el control y fiscalización de toda la actividad que de esto se derivara [3]. En 1957, esta nueva comisión sugirió incorporar la Universidad de La Habana a los estudios nucleares y propuso un proyecto que incluía una dotación adecuada para la Cátedra de Física Atómica y Nuclear, la creación del Instituto de Estudios Nucleares anexo a la Escuela de Ciencias y la organización de un laboratorio nuclear para la enseñanza e investigación que contase con un acelerador de partículas [3]. A esta propuesta el Rector de esta institución de altos estudios respondió que se tendría en cuenta cuando la situación económica del centro lo permitiera.

La situación política, social y económica imperante en Cuba en las décadas de 1940 y 1950 no permitió el desarrollo nuclear en ese entonces. En el histórico alegato, conocido como “La historia me absolverá”, autodefensa pronunciada durante el juicio a los participantes en el asalto al cuartel Moncada, en Santiago de Cuba, en octubre de 1953, Fidel Castro, al referirse a las medidas que tomaría el gobierno revolucionario para resolver los problemas de la vivienda existentes en el país, anunció “las posibilidades de llevar corriente eléctrica hasta el último rincón de la Isla..., por cuanto es ya una realidad la aplicación de la energía nuclear a esa rama de la industria, lo cual abaratará enormemente su costo de producción” [4]. Estas posibilidades se vieron reflejadas en el convenio intergubernamental suscrito en abril de 1976 con la otrora Unión Soviética, donde se incluyó la construcción de la primera central electronuclear en el país.

Esa proyección conllevaba un gran reto pues era necesario crear una sólida infraestructura, preparar cuadros, especialistas y dominar el sistema de conocimientos propios de esa esfera. Surge así el Programa Nuclear Cubano con dos puntales básicos: las aplicaciones de las técnicas nucleares y la nucleoenergética [5].

La mayor fortaleza del Programa Nuclear fue “la selección y preparación de los recursos humanos y, en particular, la formación y superación de especialistas, técnicos medios y obreros, después de una rigurosa selección de los futuros especialistas y de su nivel de preparación científico-técnica” [6].

La formación de los recursos humanos comenzó, al principio con pocos profesionales, a finales de la década del 60 del siglo pasado, cuya actividad se orientó principalmente a la formación de los primeros especialistas de la rama nuclear. En los años 70 recibieron una especialización nuclear algunos egresados de las carreras de ingeniería mecánica, eléctrica, energética, licenciatura en física y química de las universidades de La Habana, Oriente y el Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”. Asimismo, en las décadas del 70 y

80 la formación de los futuros profesionales nucleares se realizó fundamentalmente en la antigua Unión Soviética y otros países de la Europa socialista [5].

El 9 de marzo de 1981, precisamente en la Universidad de La Habana, se crea la Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares (FCTN), y se inicia la formación de profesionales en las carreras de Ingeniería Energética Nuclear (IEN) y Licenciatura en Física Nuclear (FN) con un plan de estudio autóctono. En 1985 comienza la carrera de Ingeniería en Física Nuclear (IFN), cuyo perfil del profesional estaba dirigido fundamentalmente hacia las aplicaciones médicas de la energía nuclear, con solo cuatro graduaciones pues se funde con ingeniería en energética nuclear para crear Ingeniería Nuclear (IN). Un año después comienza la formación de los licenciados en Radioquímica (RQ).

Con cuatro carreras en ejecución se decide por la máxima dirección del país elevar la categoría de facultad a Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares (ISCTN) y se adscribe a la Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares, bajo cuya dirección permanece hasta 1994 en que con la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Citma), pasa a su subordinación. En julio de 2003, se amplía su objeto social y cambia su denominación por Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC). En septiembre de ese mismo año comienza la carrera de Licenciatura en Meteorología. En julio de 2004 se gradúan los primeros ingenieros en Tecnologías Nucleares y Energéticas (ITNE), como resultado de ampliar aún más el perfil de los ingenieros.

En el año 2011 se aprueba el traspaso de la subordinación del instituto del Citma al Ministerio de Educación Superior (MES). Actualmente, el InSTEC está adscrito a la Universidad de La Habana. Su campo de acción es la formación de profesionales, educación de posgrado y ciencia e innovación tecnológica en ciencias y tecnologías nucleares, meteorológicas, gestión de ciencia, tecnología y medio ambiente.

Este trabajo presenta la contribución que ha realizado el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas por más de 40 años a las ciencias y tecnologías nucleares desde la formación de profesionales nucleares en Cuba, la educación de posgrado, la investigación y la colaboración nacional e internacional. Algunos indicadores de educación, ciencia e innovación también son presentados.

Contribución de la formación de profesionales nucleares cubanos

El Organismo Internacional de Energía Atómica (Oiea) ha reconocido la importancia de los recursos humanos y la necesidad de estabilizar la formación en ciencias y tecnologías nucleares para mantener la cantidad suficiente de los recursos humanos en ciencias e ingenierías relacionadas con la seguridad nuclear [7]. De la misma forma, en este documento se llama a las partes firmantes de la Convención sobre Seguridad Nuclear que se comprometan a ejecutar los pasos apropiados para asegurar la cantidad suficiente del personal

calificado con una formación, entrenamiento y re-entrenamiento apropiados para todas las actividades relacionadas con la seguridad nuclear en cada instalación nuclear.

El aseguramiento de la cantidad de personal calificado se inicia con una planificación adecuada de la demanda de fuerza de trabajo calificada lo que tributa al plan de ingreso a las carreras. Por tanto, para elevar la demanda de egresados de las carreras nucleares y Meteorología, e incluso encontrar nuevos empleadores, desde el año 2012 se han realizado diversas acciones como visitas de profesores a todas las provincias bajo la coordinación de las comisiones de ingreso provinciales y las direcciones provinciales del Ministerio del Trabajo y Seguridad Social (Mtss) donde brindan conferencias divulgativas sobre los perfiles de las carreras; intercambios de los jefes de departamento-carrera y profesores con representantes de los diferentes organismos de la administración central del Estado (Oace) con el objetivo de actualizarlos sobre el desarrollo que han alcanzado las carreras; y presencia de la especialista del instituto que atiende la actividad de ingreso y ubicación laboral en los despachos que se realizan en el Mtss con los Oaces sobre la demanda de graduados. Como resultado de estas acciones se incrementó la demanda de egresados en las diferentes carreras en más de 2 veces y en algunas en 4 (figura 1). Al mismo tiempo, se incorporaron la Unión Nacional Eléctrica, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, el Ministerio de la Industria Alimentaria, el Ministerio de la Agricultura, AZCUBA, el Ministerio del Transporte, la Zona de desarrollo Mariel entre otros nuevos empleadores.

Desde el segundo año de la carrera los estudiantes se incorporan a realizar prácticas en diferentes centros de investigación, producción y servicios donde se familiarizan inicialmente con las actividades que en estos se desarrollan y luego se incorporan a investigaciones que contribuyen a sus trabajos de diploma. Los resultados de sus investigaciones son presentados en eventos na-

cionales e internacionales donde han obtenido premios en ocasiones.

En el último lustro estudiantes de cuarto y quinto años de las carreras de Física Nuclear y Radioquímica han realizado acciones de formación en Rusia (Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares y Universidad Estatal de Moscú "Lomonosov"), Francia (Universidad de Pau), Alemania (programa estudiantil de verano DESY), y República Dominicana donde han realizado estancias de investigación para la culminación de sus trabajos de diploma, participado en cursos especializados y presentado trabajos en eventos científicos internacionales.

Desde 1981 han egresado de las aulas del instituto 641 ingenieros nucleares (incluidos los 45 ingenieros físicos nucleares), 407 físicos nucleares, 284 licenciados radioquímicos y 316 meteorólogos, para un total de 1648 profesionales que se han incorporado al mercado laboral en centros ubicados a todo lo largo del país y de ellos el 37,5 % son mujeres. En la figura 2 se muestra la distribución de los egresados por curso académico y carrera.

La inserción y amplia aceptación de los egresados de carreras nucleares en diferentes ramas se debe, entre otros factores, a la sólida formación en Matemática y Física, el dominio de las tecnologías informáticas y la fortaleza de las disciplinas específicas nucleares relacionadas con la cultura de seguridad, la cultura de calidad y la gestión ambiental. El 35 % de los egresados han sido ubicados en las universidades para garantizar la formación continua y sostenible de los profesionales en temáticas relacionadas con el uso y las aplicaciones de las ciencias y tecnologías nucleares así como otras tecnologías de avanzada; el sector nuclear (se incluyen los órganos reguladores de seguridad nuclear, biológica y química) y de las nanociencias y nanotecnologías se han beneficiado con el 27 % de los graduados del instituto; mientras el 16 % se ha incorporado a los hospitales y diferentes centros de la salud pública.

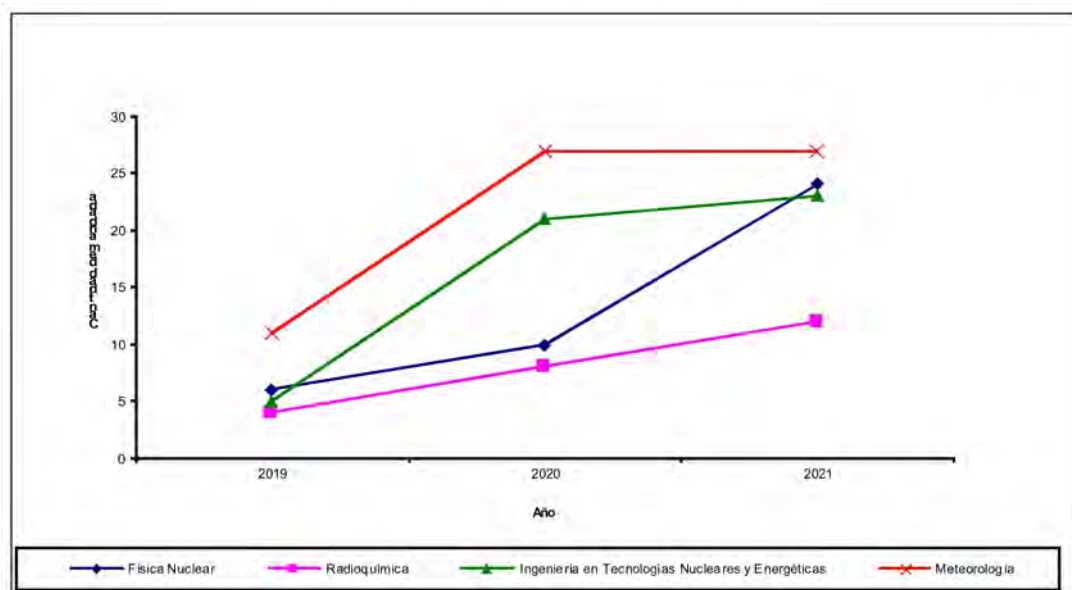


Figura 1. Demanda de fuerza de trabajo calificada en el bienio 2019-2021

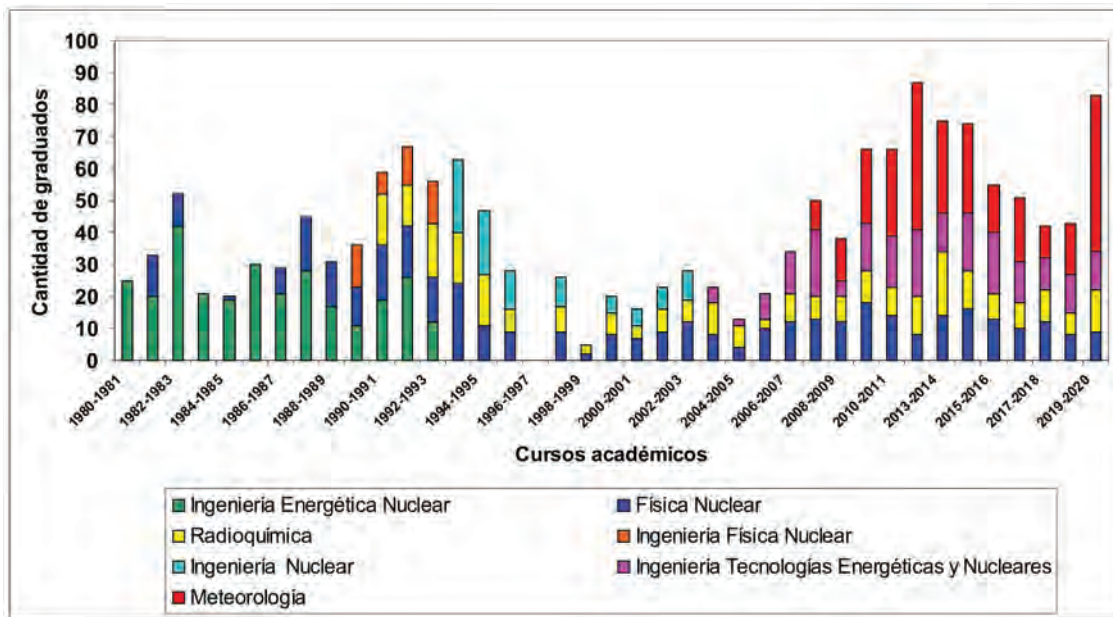


Figura 2. Distribución por carrera de los egresados nucleares (1981-2020)

En el instituto existe un ciclo de formación completa, donde el graduado puede continuar estudios en maestrías y doctorados relacionados con las ciencias y tecnologías nucleares y meteorológicas.

La paralización de la construcción de la central nuclear de Juraguá, a principios de la década de 1990 y la decisión del gobierno de continuar la formación de profesionales nucleares condujeron a un análisis en el instituto a partir de áreas clave de las ciencias y las tecnologías nucleares: cultura de seguridad, gestión de la calidad, protección ambiental, y se decidió extender y difundir los conocimientos particulares de estas áreas a otras esferas de las ciencias y la industria [8].

La estrategia seguida fue la creación de 13 cátedras honoríficas con la misión fundamental de capacitar al personal que labora en diferentes centros e industrias, incluyendo las instituciones de salud pública, a través de actividades académicas, desarrollo de talleres y eventos científicos. Como resultado se promovieron y ejecutaron más de 200 cursos de posgrado y 20 diplomados en temas relacionados con protección ambiental, gestión empresarial, gestión tecnológica, gestión educacional, seguridad de la industria, educación ambiental, gestión ambiental, gestión ambiental empresarial, gestión de la evaluación de impacto ambiental, técnicas de dirección modernas, gestión del conocimiento, dirección de marketing, derecho ambiental, política científica y tecnológica, gestión de proyectos, formación ambiental aplicada, física médica, seguridad y protección radiológica, ensayos no destructivos, concepción y desarrollo del capital humano en organizaciones.

La formación académica de posgrado se ha desarrollado en 12 maestrías con un total de 1032 egresados (figura 3) de ellos 48,9 % son mujeres, tres especialidades de posgrado, dos doctorados curriculares colaborativos y tres doctorados tutelares.

La formación de másteres en ciencias nucleares representa un 28,4 % del total de profesionales egre-

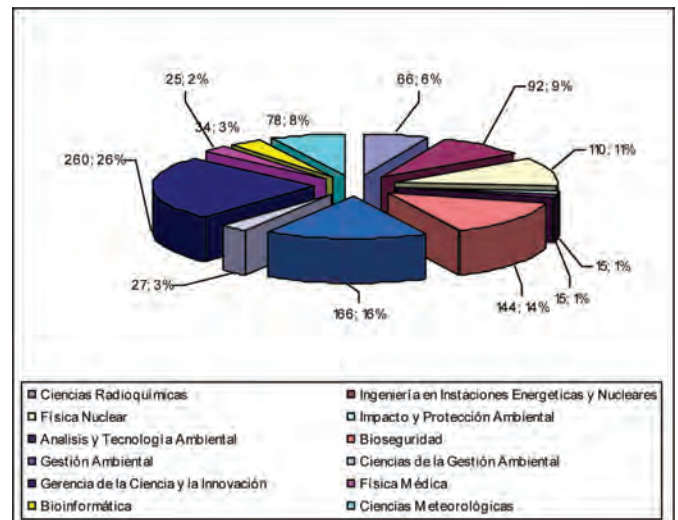


Figura 3. Programas de maestrías ejecutadas desde 1994 hasta la actualidad

sados. Asimismo, debe señalarse que la contribución a la preparación de profesionales en seguridad y protección (Bioseguridad, Impacto y Protección Ambiental) es de 15,4 %, mientras en ciencias ambientales (se incluyen las Ciencias Meteorológicas) es de un 29,2 %. La mayor contribución se ha realizado a las ciencias de la gestión (Gerencia de la Ciencia y la Innovación, Gestión Ambiental y Ciencias de la Gestión Ambiental) con una graduación de profesionales que representan el 43,9 % del total de egresados de las maestrías. En la actualidad se encuentran en ejecución 8 maestrías, cuatro de ellas acreditadas de Excelencia (Ingeniería en Instalaciones Energéticas y Nucleares, Física Nuclear, Radioquímica y Ciencias de la Gestión Ambiental), una certificada (Gerencia de la Ciencia y la Innovación) y tres autorizadas (Física Médica, Bioseguridad y Ciencias Meteorológicas).

La especialidad de posgrado es otra figura académica que tiene como finalidad la actualización, profundización, perfeccionamiento o ampliación de la

competencia laboral para el desempeño profesional especializado y la innovación en los escenarios inherentes, que requiere un puesto de trabajo o familia de estos, la solución de problemas específicos de la profesión en correspondencia con las necesidades de la producción y los servicios, así como del desarrollo económico, social, tecnológico y cultural del país [9]. En el instituto se formaron un total de 117 especialistas, de ellos el 63,25 % mujeres. Egresaron profesionales en Tecnología del Petróleo mención Perforación y extracción (27), Inteligencia Empresarial (65) y Gestión de la formación y el desarrollo del capital humano (25) en colaboración con especialistas de CUPET, la Consultoría Biomundi y el Citma respectivamente. Actualmente las tres especialidades de posgrado están cerradas.

Una contribución importante del instituto al desarrollo del conocimiento en las ciencias y tecnologías nucleares y áreas conexas ha sido la formación de doctores desarrollada en tres programas tutelares de doctorados en Ingeniería Nuclear, Física del Núcleo Atómico y Radioquímica, así como en dos programas curriculares colaborativos en Tecnologías Energéticas y en Gestión de la Ciencia, la Tecnología y el Medio Ambiente. En el año 2015 había matriculados en estos programas 40 aspirantes [10]. En el periodo 2015-2020 recibieron su título de doctor en ciencias determinadas un total de 33 profesionales, de ellos 8 formados en el extranjero (tabla 1).

Tabla 1. Graduados de programas de doctorados en el periodo 2015-2020.

Programa de doctorado	Graduados
Ingeniería Nuclear (tutelar)	8
Física del Núcleo Atómico (tutelar)	3
Radioquímica (tutelar)	3
Gestión de la Ciencia, la Tecnología y el Medio Ambiente (curricular colaborativo)	11
TOTAL	25

Asimismo se ha contribuido a la formación posgraduada de profesionales extranjeros a través de cursos de posgrado, cursos pre-evento, maestrías y de estancias para realizar investigaciones que tributan a su tesis doctoral. En el periodo 2015-2020 han recibido formación posgraduada 13 estudiantes extranjeros provenientes de Brasil, Perú, México, Argentina, El Salvador, Colombia e Irán.

Contribución de la actividad de ciencia e innovación

La calidad de la formación de los egresados de pre y posgrados del instituto está soportada por un claustro con una alta calificación donde participan además profesionales de los centros con aplicaciones nucleares y de los servicios meteorológicos del país. El claustro está compuesto por un 57,3 % de profesores auxiliares y titulares y 51,4 % de doctores en ciencias específicas y másteres.

La alta calificación del claustro se ha alcanzado con un plan de formación y desarrollo que prioriza la obtención de grados científicos. Así se han formado en los

programas que se ejecutan en el propio instituto pero también en universidades y centros de investigación en el extranjero, donde en el último lustro se han realizado 60 acciones de formación de doctorandos (Brasil, Francia, México, Canadá, Italia, Argentina, España, Suiza), 2 acciones de formación de másteres (Rusia) y 20 acciones de participación en cursos de posgrado y entrenamientos (Rusia, Argentina, Canadá, Chile, Perú, Estados Unidos, México, Italia). Los profesores han participado en acciones de formación desarrolladas en el Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares de Rusia, Instituto de Energía de Moscú, Centro Internacional de Física Teórica (ICTP), Instituto de Energía Nuclear de Perú y la Escuela Latinoamericana de Física de Altas Energías entre otros.

La participación en grupos de investigación internacionales y en contratos de servicios científico-técnicos ejecutados en el exterior ha sido otra de las contribuciones de los profesores en estos años. Se han realizado estancias en estos últimos cinco años, por ejemplo, en la Universidad Federal Fluminense y Universidad Federal de Pernambuco de Brasil, el Laboratorio de Radioquímica y Ciclotrón de la Universidad de Montreal, el Laboratorio de Ecología y Medio Ambiente de Toulouse, la central nuclear de Embalse en Argentina, la Universidad de las Antillas, Universidad Nacional Autónoma de México, Laboratorio de Nanociencia y Nanotecnología, Universidad Autónoma de Nuevo León.

El aporte científico al conocimiento en diferentes áreas del saber se ha realizado también a través de la ejecución de proyectos de I+D+i. La figura 4 muestra la evolución que ha tenido la estructura de los proyectos en los últimos cinco años.

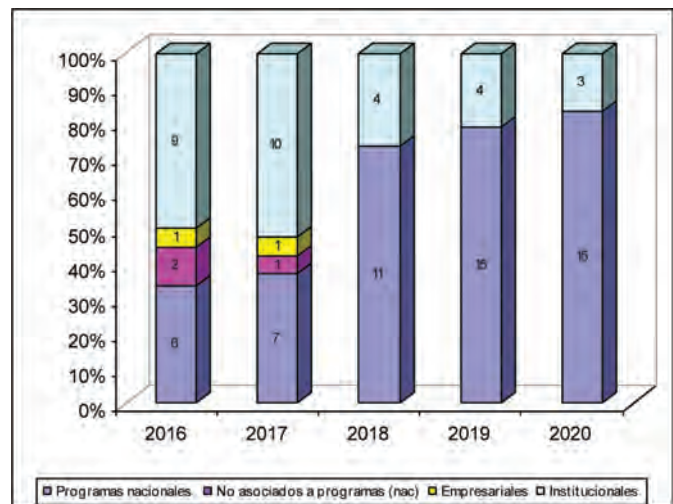


Figura 4. Evolución de la estructura de los proyectos de I+D+i del InSTEC (2016-2020)

La participación de los profesores en proyectos asociados a programas nacionales se ha incrementado en 2,5 veces mientras que los proyectos institucionales han disminuido en 3 veces al final del periodo. A su vez, los proyectos asociados a programas nacionales coordinados por el instituto se han incrementado de tres en el año 2016 a cinco en el 2020.

Los resultados de las investigaciones son publicados en revistas científicas nacionales e internacionales y en libros. Se ha mantenido la mayor cantidad de publicaciones en las revistas que aparecen en las bases de datos de la Web of Science o Scopus (grupo 1) que representan el 59,9 % del total y en Scielo (grupo 2) con el 21,85 % (tabla 2).

Tabla 2. Publicaciones en revistas nacionales e internacionales y libros en el periodo 2015-2020

Año	Publicaciones en revistas					Libros
	TOTAL	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	
2016	92	50	24	7	11	1
2017	48	34	8	0	6	2
2018	57	38	8	6	5	1
2019	55	30	17	1	7	2
2020	50	29	9	7	5	0
Total	302	181	66	21	34	6

A partir de resultados obtenidos en las investigaciones, los profesores han prestado servicios científico-técnicos a empresas, la industria y otras organizaciones que reportaron un ingreso de 175,197 pesos cubanos convertibles en los últimos cinco años.

El impacto de los resultados de las investigaciones ha sido reconocido a través de premios otorgados por diferentes organizaciones como la Universidad de la Habana (UH) (a partir del año 2018), la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (Aenta), otros Oaces y la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) (tabla 3).

Tabla 3. Resumen de los premios científicos obtenidos por el InSTEC en el periodo 2016-2020

Año	InSTEC	UH	Aenta	Otros Oaces	ACC	Total
2016	8	-	-	1	3**	12
2017	6	-	3	-	4***	13
2018	10	1	2	-	2**	15
2019	10	1	2	1*	1	15
2020	12	4	2	-	2*	20
Total	46	6	9	2	12	75

Nota: *Se otorgó una mención. **En un premio el InSTEC aparece como entidad participante. ***En dos premios el InSTEC aparece como entidad participante.

Los premios otorgados por otras organizaciones suman un total de 28, de ellos el 39,3 % fueron entregados por la ACC lo que indica el reconocimiento que se hace a la contribución científica de los resultados obtenidos.

Por otra parte, también han sido reconocidos por el Citma el trabajo científico y de innovación tecnológica que realizan los estudiantes y jóvenes del instituto. De 2016 a 2020 cinco estudiantes obtuvieron mención (2 (2016), 1 (2017), 1 (2018), 1 (2019)) y un estudiante (2020) el premio anual Estudiante destacado en la investigación; cuatro jóvenes obtuvieron mención (1 (2016), 1 (2017), 1 (2018), 1 (2020)) como Joven destacado en la investigación y un joven obtuvo mención como Joven Tecnólogo en el año 2017.

Conclusiones

La formación de profesionales nucleares cubanos responde a la demanda que las organizaciones realizan la que se ha incrementado en los últimos años, además se han incorporado nuevos empleadores.

Los egresados de las carreras del InSTEC tienen una sólida formación donde se conjugan los conocimientos y experiencias nacional e internacional que les ha permitido insertarse en el mundo laboral en áreas donde se aplican tecnologías de avanzada.

La estrategia de extender y difundir los conocimientos particulares de la cultura de seguridad, gestión de la calidad, protección ambiental hacia otras esferas de las ciencias y la industria dio lugar a la diversificación de la aplicación de estos conocimientos, así como al desarrollo y crecimiento del instituto tanto desde el punto de vista de la formación de profesionales de pre y posgrado con una calidad alta reconocida con la acreditación de los programas de estudios de las carreras y de maestrías así como de la actividad de ciencia e innovación.

Las mujeres representan el 37,5 % de los egresados de las carreras, el 48,9 % de los masteres y el 63,25 % de los especialistas de posgrado.

La contribución de la actividad de ciencia e innovación desarrollada en el instituto está dada por el incremento en la participación de los profesores en proyectos asociados a programas nacionales, en grupos de investigación internacionales, el aporte económico a través de servicios científico-técnicos, las publicaciones en revistas científicas y los premios obtenidos tanto individual como por colectivos.

Referencias bibliográficas

- [1]. Partido Comunista de Cuba. Documentos del 7mo. Congreso del Partido aprobados por el III Pleno del Comité Central del PCC el 18 de mayo de 2017 y respaldados por la Asamblea Nacional del Poder Popular el 1 de junio de 2017. Tabloides I y II. La Habana, 2017.
- [2]. CASTRO DIAZ-BALART F. Ciencia, tecnología y sociedad. Hacia un desarrollo sostenible en la era de la globalización. La Habana: Editorial Científico-Técnica, 2004.
- [3]. CASTRO DIAZ-BALART F. Energía nuclear y desarrollo. La Habana: Ciencias Sociales, 1990.
- [4]. CASTRO RUZ F. La historia me absolverá. La Habana: Ciencias Sociales, 2007.
- [5]. VALDÉS G, ELÍAS HARDY LL. La formación de profesionales nucleares y su contribución al desarrollo de La Habana. Nucleus. 2019; (66): 66-71.
- [6]. CASTRO DIAZ-BALART F. Ciencia, innovación y futuro. La Habana: Instituto del Libro (Ediciones especiales), 2001.
- [7]. International Atomic Energy Agency (IAEA). IAEA Report on capacity building for nuclear safety. Vienna: IAEA, 2015.
- [8]. ELÍAS HARDY LL, GUZMÁN F, RODRÍGUEZ O & LÓPEZ A. Cuban strategy for reproducing, preserving and developing nuclear knowledge. International Journal of Nuclear Knowledge Management. 2006; 2(1): 31- 37.
- [9]. Ministerio de Educación Superior (MES). Reglamento de la educación de posgrado de la República de Cuba. Resolución No. 140/19. Gaceta oficial No. 65 ordinaria de 5 de septiembre de 2019. La Habana, 2019.
- [10]. GAREA B, CODORNIU D, RAMOS R & ELÍAS HARDY LL. InSTEC: 35 años formando profesionales. Nucleus. 2015; (58): 1-7.

Recibido: 02 de agosto de 2021

Aceptado: 04 de agosto de 2021

Estatus de la formación académica en temas de protección radiológica en el InSTEC-UH: logros y retos

Alina Gelen Rudnikas, Amaya Ofelia Casanova Díaz, Adlín López Díaz, Oscar Díaz Rizo, Antonio Torres Valle, Rodolfo Alfonso Laguardia, Lidia Lauren Elías Hardy

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, (Instec) Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
alina@instec.cu

Resumen

El Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de la Universidad de La Habana, en colaboración con otras instituciones del país, ha venido desarrollando un trabajo sólido por 40 años, en función de desarrollar y fomentar programas de formación académica de pregrado y de posgrado con alta calidad, que incluyen directamente asignaturas y/o cursos de protección radiológica. Este trabajo realiza una evaluación integral del pasado, presente y futuro de los programas de estudio de pregrado y posgrado que se han desarrollado y/o se encuentran registrados y en marcha, en función de analizar su correspondencia con las necesidades actuales del país, las recomendaciones nacionales e internacionales para la formación en protección radiológica, los logros y deficiencias encontrados en su desarrollo y las potencialidades al futuro. Los programas de las tres carreras nucleares poseen contenidos sólidos y suficientes para cumplimentar satisfactoriamente los mínimos requeridos por las autoridades reguladoras como curso básico de protección radiológica. El instituto también cuenta con figuras académicas de posgrado que juegan un papel vital en la formación de expertos en protección radiológica.

Palabras clave: protección radiológica, formación, recursos humanos, cursos de pregrado y posgrado, física médica

Status of academic training in radiation protection issues at InSTEC-UH: achievements and challenges

Abstract

The Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas of the University of Havana, in collaboration with other Cuban institutions, has been developing a solid work for 40 years, in order to establish and improve undergraduate and postgraduate programs of academic formation with high quality, that include courses of radiation protection. The present work makes a comprehensive evaluation of the registered pass and present undergraduate and postgraduate programs with the objective of analyze their correspondence with the necessities of the country, the national and international recommendations in the radiation protection training, the achievements and deficiencies found in its development and the potentialities for the future. The programs of the three nuclear careers have solid and sufficient content to satisfy the minimum required by the regulatory authorities as a basic radiation protection course. The institute has also postgraduate academic figures that play a vital role in the training of experts in radiation protection.

Key words: Radiation Protection, human resource, training, undergraduate and postgraduate courses, Medical Physics

Introducción

A finales de la década del 60 del siglo pasado, a partir de la creación del Instituto de Física Nuclear de la Academia de Ciencias de Cuba, comienza la formación de los primeros especialistas de la rama nuclear, en un principio con muy pocos profesionales. En los años 70 recibían una especialización nuclear algunos egresa-

dos de las carreras de ingeniería mecánica, eléctrica, energética, licenciatura en física y química de las universidades de La Habana (UH), de Oriente (UO) y del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (ISPJAE). Asimismo, en las décadas del 70 y 80 la formación de los futuros profesionales nucleares se realizó fundamentalmente en la antigua Unión Soviética y otros países de la Europa socialista [1].

Estos antecedentes dieron lugar en el año 1981 a la creación de la Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares adscrita a la UH, con las carreras Licenciatura en Física Nuclear e Ingeniería en Energética Nuclear, ambas provenientes de la UH y del ISPJAE respectivamente. A partir de 1985, se inicia la formación en la carrera de Ingeniería en Física Nuclear y en 1986 se incorpora la carrera de Licenciatura en Radioquímica. En el año 1987 se convierte en el Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares (ISCTN) adjunto a la Secretaría Ejecutiva de Asuntos Nucleares (SEAN). En el año 1995 pasa al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), cambiando su nombre en el 2003 al actual Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC) tomando en cuenta la extensión de sus estudios no solo a ciencias nucleares, sino también ambientales, tanto en estudios de pregrado como de posgrado. En el año 2011 se adscribe al Ministerio de Educación Superior y desde el año 2016 vuelve a formar parte de la Universidad de la Habana, dentro del propio ministerio [2].

El InSTEC es una institución especializada en las ciencias nucleares y ambientales, su **misión** está dirigida a garantizar una formación sólida, integral y continua de profesionales, con una alta preparación en las ciencias básicas, un elevado desempeño en la aplicación de los conocimientos y una cultura especializada en la seguridad, el riesgo y la gestión de la ciencia y la tecnología, capaces de comprometerse con sus responsabilidades sociales. Promueve asimismo las investigaciones, los desarrollos tecnológicos y la innovación, para aportar creativamente a las transformaciones de la sociedad cubana. Una fortaleza con la que cuenta el InSTEC es el claustro de excelencia tanto desde el punto de vista científico, con un alto porcentaje de doctores y másteres, así como la alta cantidad de profesores con categorías docentes superiores de auxiliares y titulares en su personal [1, 2].

La formación de sus especialistas ha contado también con una fuerte colaboración nacional e internacional, teniendo firmados convenios de colaboración con diferentes centros de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA) y de otros ministerios, así como con universidades y centros de investigación del mundo. En la temática de Protección Radiológica (PR) son de destacar las unidades docentes del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), Centro de Isótopos (CENTIS), entre otros, así como los hospitales Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR) y Hospital Docente Clínico-Quirúrgico "Hermanos Ameijeiras" (HHA), por mencionar algunos [2].

En los programas de formación académica de pregrado y de posgrado en las carreras nucleares, la protección radiológica reviste gran importancia. En este trabajo se presenta una evaluación integral de los programas de estudio de pregrado y posgrado aprobados ejecutados y en curso con el objetivo de analizar el cumplimiento satisfactorio de los saberes/contenidos/competencias mínimos establecidos por ley por la Di-

rección de Seguridad Nuclear-Oficina Regulatoria de Seguridad Ambiental, DSN-ORSA, como curso básico de Protección Radiológica y como figuras de posgrado sobre esta temática [3, 4].

Formación de profesionales

El InSTEC, en colaboración con otras instituciones del país, ha venido desarrollando un trabajo sólido por casi 40 años, en función de desarrollar y fomentar programas de formación académica de pregrado y de posgrado con alta calidad, que incluyen directamente la asignatura de Protección Radiológica (PR) y otras materias que tributan a esta y la apoyan y/o complementan. Estas asignaturas han sido objeto de un proceso sistemático de perfeccionamiento dentro de los diferentes planes de estudio, una actualización continua y constante partiendo de analizar su correspondencia con las necesidades del país, así como una revisión metodológica acorde al Reglamento Docente Metodológico vigente.

La Protección Radiológica es una temática que ha estado sometida a cambios constantes dados por los innumerables avances de la ciencia y la tecnología, las recomendaciones nacionales e internacionales de los diferentes organismos, las nuevas evidencias epidemiológicas, los cambios en los conceptos, magnitudes y unidades y en las normas básicas internacionales de seguridad para la protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación, por mencionar algunos aspectos que han sido seguidos por todas las publicaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas, y el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Ionizantes conocidos respectivamente ICRP, ICRU y UNSCEAR por sus siglas en inglés.

En relación al pregrado, la asignatura de Dosimetría y Protección Radiológica está incluida dentro del currículo base de las tres carreras nucleares e históricamente siempre ha formado parte de las disciplinas integradoras de las tres carreras de la esfera nuclear que se imparten actualmente en el instituto. Numerosos conceptos, principios y procesos aprendidos por el estudiante en años anteriores se aplican en la asignatura, lo que contribuye a una mayor integración entre las actividades docentes, el trabajo científico y la práctica laboral, y que van a ser revertidos una vez que comience a laborar en cualquier centro donde se trabaja con aplicaciones nucleares y radiaciones ionizantes a modo de asegurar un adecuado equilibrio entre ciencia y profesión, siendo capaz de enfrentar con mayor independencia tareas de investigación y/o aplicaciones concretas de sus conocimientos, en el ámbito laboral del país. En la asignatura se imparten, en un total de 64 horas presenciales con un 25 % de actividad práctica, los temas siguientes [5]:

- Introducción a la protección radiológica
- Conceptos en protección radiológica
- Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes
- Sistema de protección radiológica

- Protección contra las radiaciones ionizantes
- Dosimetría de la contaminación interna
- Métodos de medición en protección radiológica

Los temas arriba listados muestran que todos los temas del “standard syllabus” del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en materia de superación posgraduada para la protección radiológica y seguridad de las fuentes radiactivas, están contenidos dentro del programa de pregrado en una mayor o menor medida, por lo que se puede concluir que un egresado de las carreras nucleares tiene una buena preparación en protección radiológica con contenidos sólidos y suficientes para cumplimentar satisfactoriamente los saberes/contenidos/competencias mínimos establecidos por ley por la DSN-ORSA como curso básico de PR, si se tienen en cuenta además las guías de seguridad establecidas para las diferentes prácticas y los requerimientos mínimos para la formación de personal especializado [6-11].

En la tabla 1 se muestran los graduados a lo largo de 40 años en las diferentes especialidades programas y planes de estudio que han pasado por un perfeccionamiento continuo encaminado al logro de un profesional mejor preparado para el país.

Tabla 1. Estudiantes graduados en el instituto entre 1981-2020

Planes de Estudio	Física Nuclear (FN)	Ingeniería ¹ (IN)	Radioquímica (RQ)	Graduados entre
A	32	178	-	(1981-1987)
B	90	158	46	(1988-1993)
C	182	175	138	(1994-2011)
D	103	130	100	(2012-2020)
Total	407	641	284	1332

¹Incluye Ingeniería Energética Nuclear, Ingeniería Física Nuclear, Ingeniería Nuclear e Ingeniería en Tecnologías Energéticas y Nucleares

Formación de posgrado

Desde 1988 comenzaron a ejecutarse de forma ininterrumpida cursos de superación posgraduada, muchos de los cuales incluyen temas relacionados con la dosimetría y la protección radiológica.

La resolución del Ministro de Educación Superior No. 76 de 1995 aprobó los programas de estudio de las maestrías en Ciencias Radioquímicas, en Ingeniería en Instalaciones Energéticas y Nucleares y en Física Nuclear y la resolución rectoral No. 23 de ese mismo año la ejecución de la primera edición [12].

En el año 2000 se aprueba y comienza la ejecución de la Maestría en Física Médica (MFM) que tuvo dos ediciones. Se modifica su plan de estudios y en el año 2018 se aprueba e inicia la primera edición que se encuentra actualmente en ejecución [3, 13].

En la tabla 2 se muestran los estudiantes graduados en las diferentes maestrías con perfil nuclear, en cuyos programas de estudios el curso de Protección Radiológica forma parte de los créditos necesarios para obtener el correspondiente título de Máster en Ciencias.

Tabla 2. Graduados en las maestrías nucleares hasta el 2020

Maestrías	Ediciones	Graduados
Física Nuclear	9	95
Ing. en Instalac. Energéticas y Nucleares	9	84
Radioquímica	8	55
Física Médica [14]	2	24
	1 ¹	2
	Total	260

¹Edición en marcha, comenzó en 2018

En el caso de la Maestría de Física Médica en su plan de estudio cuenta con una asignatura obligatoria: Principios de la PR en la práctica médica y en los módulos opcionales de los diferentes perfiles terminales de PR en la práctica de Radioterapia, de Medicina Nuclear, de Radiodiagnóstico y Protección Radiológica Hospitalaria, asignaturas de la temática que tributan a la enseñanza de alta especialización [13].

El InSTEC, como parte de su encargo social e institucional, y en colaboración con otras instituciones del país, ha desplegado un trabajo sólido, y periódico, en función de desarrollar y fomentar otros programas de formación de posgrado con alta calidad, en temas de Física Médica (FM), tecnología nuclear y Protección Radiológica, ha desarrollado la figura del diplomado con vistas a, de manera más rápida lograr un especialista reconocido por las autoridades reguladoras del país, para esto el instituto cuenta con:

- Diplomado de Seguridad y Protección Radiológica, ejecutada en conjunto con el CPHR, con dos ediciones concluidas a partir del 2012.
- Diplomado en Fundamentos de Física Médica, con tres ediciones concluidas a partir del 2014 y una que está en ejecución.
- Diplomado de Protección Radiológica en Aplicaciones Médicas (PRAM), de reciente apertura (Marzo 2021, primera edición).

El Diplomado en Fundamentos de Física Médica, InSTEC-UH [3, 14] surgió en el 2014 por la necesidad de lograr un profesional con los conocimientos necesarios de PR y FM para los hospitales del país, este especialista se encuentra reconocido por la DSN-ORSA.

Los diplomados en Seguridad Radiológica y el de Protección Radiológica en Aplicaciones Médicas, se fundamentan en el “standard syllabus” del OIEA en materia de superación posgraduada para la protección radiológica y seguridad de las fuentes radiactivas; fue un objetivo estratégico que estos diplomados especializados fueran reconocidos por este organismo de las Naciones Unidas y a su vez por el órgano regulador nacional [6-11, 15, 16].

El Diplomado en Seguridad Radiológica cuenta con un módulo de 6 cursos obligatorios que otorgan 14 créditos y 8 cursos optativos encaminados a las diferentes situaciones de exposición, a la protección radiológica en aplicaciones médicas e industriales a escoger tres cursos, para un total de 6 créditos y una tesina final de

5 créditos; los cursos opcionales se ofertaron también como cursos de posgrado independientes [17]. El egresado dispone de los fundamentos de seguridad radiológica acorde a las recomendaciones internacionales y el marco nacional, de manera que alcanza la calificación necesaria para la gestión de la seguridad radiológica en las aplicaciones, los servicios especializados en este campo y en el accionar regulador.

El Diplomado de Protección Radiológica en Aplicaciones Médicas [18] tiene la ventaja de que, en un plazo mínimo de tres meses, se le proporciona al egresado lo que necesita para mejorar y optimizar la PR en su puesto de trabajo. Consta de un módulo obligatorio: Introducción a la protección radiológica en las aplicaciones médicas y 7 cursos opcionales en Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear o Radioterapia según convenga a sus necesidades laborales, lo que culmina en una tesina. Estos cursos opcionales pueden constituir también cursos de posgrado independientes, otra fortaleza de este diseño (ya en trámites de reconocimiento por DSN-ORSA).

En la tabla 3 se muestran las cantidades de estudiantes graduados en los diferentes diplomados donde han recibido cursos de Protección Radiológica.

Tabla 3. Graduados en los diplomados nucleares hasta el 2020

Diplomados	Ediciones	Graduados
Fundamentos de Física Médica	3 ¹	25
Seguridad y Protección Radiológica	2	6
Protección Radiológica en Aplicaciones Médicas	1	(16) ²
	Total	31

¹Abierta una cuarta edición ²Matriculados en la edición recién abierta

Los logros de este sistema de formación de pregrado y posgrado son significativos y evidentes. En la actualidad, se ha iniciado la presentación de la documentación a la DSN-ORSA para el reconocimiento oficial de la formación básica en temas de protección radiológica que permitan a los egresados de las diferentes vías de formación trabajar en puestos de trabajo asociados a las aplicaciones nucleares y radiaciones ionizantes.

Las potencialidades de los escenarios virtuales y a distancia, desplegando cursos online avalados por plataformas de enseñanza aprendizaje virtual, a escala nacional e internacional, como vía de ahorro de recursos materiales y aprovechamiento óptimo de las facilidades instaladas se constituyen en retos para el desarrollo y sostenibilidad de la formación en protección radiológica.

Conclusiones

Las modificaciones realizadas en los diferentes planes de estudio y la introducción constante de los avances alcanzados en la ciencia y la tecnología han contribuido a lograr una formación de los profesionales en temas relacionados con la Protección Radiológica, donde se alcanzan los conocimientos básicos y

necesarios para trabajar en cualquier centro donde se aplican técnicas nucleares y de radiaciones ionizantes.

La formación de posgrado cuenta con un sistema bien estructurado que incluye cursos de posgrado, diplomados y maestrías, que responden a las necesidades nacionales en el área de la Protección Radiológica y que está acorde con las exigencias a nivel internacional de la educación posgraduada.

Referencias bibliográficas

- [1]. VALDÉS VALDÉS G & ELÍAS HARDY LL. La formación de profesionales nucleares y su contribución al desarrollo de La Habana. *Nucleus*. 2019; (66): 66-71.
- [2]. GAREA MOREDA B, CODORNIÚ PUJALS D, RAMOS ROS R, ELÍAS HARDY LL. InSTEC: 35 años formando profesionales. *Nucleus*. 2015; (58).
- [3]. ALFONSO LAGUARDIA R, LÓPEZ DÍAZ A & DÍAZ RIZO O. La física médica en la Ciudad de la Habana. *Nucleus*. 2019; (66): 52-57.
- [4]. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Reglamento para el reconocimiento de la competencia de los servicios para la seguridad radiológica. Res. No. 6/04 del CITMA GO_O_22_2004, Abril 2004.
- [5]. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InSTEC). Plan de Estudio "E" de las carreras: Licenciatura en Física Nuclear, Ingeniería en Tecnologías Nucleares y Energéticas y Licenciatura en Radioquímica. InSTEC-UH. 2017.
- [6]. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Guía para el reconocimiento de la competencia de los cursos en materia de protección radiológica Resolución 19/2012-CITMA. 26 de Diciembre del 2012.
- [7]. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Reglamento para la selección, capacitación y autorización del personal que realiza prácticas asociadas al empleo de radiaciones ionizantes. Resolución Conjunta CITMA-MINSAP. Marzo 2002.
- [8]. Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN). Guía de seguridad para la práctica de radioterapia. Resolución 41/ 2011. CNSN, Abril 2011.
- [9]. Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN). Guía para Implementación de los reglamentos de seguridad en la práctica de radiografía industrial. Resolución 7/2015. CNSN, agosto 2004.
- [10]. Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN). Guía de seguridad para la práctica de Medicina Nuclear. Resolución .40/ 2011. CNSN, abril 2011.
- [11]. Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN). Guía de seguridad para la práctica de Medidores Nucleares. Resolución 15/2012. CNSN, noviembre 2012.
- [12]. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InSTEC). Programas de las Maestrías en Radioquímica, en Física Nuclear y en Instalaciones Energéticas y Nucleares. Res. MES No.76 y Res. Rector ISCTN No.23 del 1995.
- [13]. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InSTEC). Programa de la Maestría en Física Médica. 2018. InSTEC. Res. 8/2019
- [14]. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InSTEC). Diplomado en Fundamentos de Física Médica. InSTEC-UH. Res. 10/2020
- [15]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Postgraduate educational course in radiation protection and the safety of radiation sources. Standard syllabus. Training Courses Series 9. Vienna: IAEA, 2002.
- [16]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Postgraduate Educational Course in Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources. Standard syllabus. Training Courses Series 18 (Rev1). Vienna: IAEA, 2019.
- [17]. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InSTEC). Diplomado en Seguridad Radiológica. InSTEC-CPHR. Res. Decano 3/2012.
- [18]. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (InSTEC). Diplomado en Protección Radiológica en Aplicaciones Médicas. InSTEC-UH. Res. 2/2021.

Recibido: 14 de junio de 2021

Aceptado: 21 de julio de 2021

Contribución de la gestión tecnológica a la gestión del conocimiento: una propuesta

Lidia Lauren Elías Hardy

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, (Instec) Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
lauren@instec.cu

Resumen

La tecnología es el resultado de un proceso de creación del conocimiento y a su vez, su utilización permite generar nuevo conocimiento. De ahí que conocer cómo se obtuvo; quiénes participaron en su obtención, desarrollo e implementación; cómo funciona u opera, son aspectos importantes para la gestión del conocimiento pero también lo es conocer los resultados que se han obtenido con su utilización. Este trabajo presenta un sistema de gestión tecnológica diseñado como subsistema de un sistema de gestión del conocimiento. Esta contribución describe la estructura, sus componentes y algunas herramientas para su implementación entre las que se encuentran las planillas de inventario de las tecnologías, sus expedientes y los registros de las actividades y resultados obtenidos con su explotación. Fue implementado en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de la Universidad de La Habana para la gestión de las tecnologías nucleares instaladas y su valor agregado, así como los resultados de su implementación se muestran.

Palabras clave: transferencia tecnológica; gestión del conocimiento; inventarios; energía nuclear; universidades.

Contribution of technology management to knowledge management: a proposal

Abstract

Technology is the result of a knowledge creation process and, at the same time, its use allows new knowledge to be generated. Hence, knowing how it was obtained; who participated in its obtaining, development and implementation; how it works or operates, are important aspects for knowledge management but it is also important to know the results that have been obtained with it. This paper presents a technological management system designed as a subsystem of a knowledge management system. This contribution describes the structure, its components and some tools for its implementation, among which are the inventory template of the technologies, their documents and the records of the activities and results obtained with their exploitation. It was implemented at the Higher Institute of Technologies and Applied Sciences of the University of Havana. The management of installed nuclear technologies and their added value, as well as the results of their implementation are shown.

Key words: technology transfer; knowledge management; inventories; nuclear energy; universities.

Introducción

La gestión tecnológica (GT) y la gestión del conocimiento (GC) tienen objetivos comunes y en ocasiones, durante la ejecución de sus procesos, se realizan actividades similares. Entre los objetivos que persigue tanto la GC como la GT se encuentra alcanzar las metas del negocio por medio de la obtención y administración del conocimiento o la tecnología que la empresa requiere para ser competitiva [1]. Zorrilla en su trabajo "La gerencia del conocimiento y la gestión tecnológica" propone que la

gestión de tecnología sea vista como el proceso por el cual se ayuda a la empresa a adquirir el conocimiento necesario para lograr liderazgo en su negocio. Concluye que el enfoque de la gestión tecnológica como un proceso de aprendizaje empresarial, y su adaptación a los principios de la gerencia del conocimiento, puede mejorar el índice de éxito en las actividades de transferencia y asimilación de tecnología [2].

Sáez y et. al. sobre la base de que tecnología es conocimiento aplicado, plantearon que los principios y actividades de la GC, eran aplicables a la GT. Señala-

ron que en la práctica no se reconoce este hecho lo que conlleva a fracasos en las tareas de transferencia de tecnología. Afirman que la GT es parte importante de la GC y por tanto, sus principios deben adaptarse a los de esta última. Por tanto, subrayan la necesidad de que ocurra un cambio de paradigma para ver la GT como el proceso por el cual se ayuda a la empresa a adquirir el conocimiento necesario para lograr una ventaja competitiva sostenible en su negocio y recomiendan que los directivos dedicados a la GT deben “poco a poco” convertirse en gerentes del conocimiento [1].

En Cuba, las diferentes organizaciones, sobre todo medianas y pequeñas, no disponen de un arsenal y vivencia empírica en la utilización de diferentes técnicas de dirección y gestión que les permita realizar una caracterización de su patrimonio tecnológico, tangible e intangible, como punto de partida para la formulación de una estrategia tecnológica, implícita o explícita, como parte de las acciones de los procesos de aprendizaje organizacional para enfrentar los retos del entorno [3]. La identificación del potencial tecnológico y las competencias esenciales, en base al inventario, evaluación y vigilancia es trascendental. En 2005, Armenteros y Vega propusieron un modelo y una metodología para el diagnóstico del patrimonio tecnológico de las organizaciones que fueron aplicados en sectores tradicionales del sector del transporte e industria de materiales de la construcción, así como centros de I+D, que ofrece una vía de contribuir a la gestión de la información y el conocimiento en las organizaciones.

Suárez parte de uno de los conceptos de gestión del conocimiento para adentrarse en el mundo de la gestión

de la tecnología y la innovación (GTI). Afirma que, en su criterio, pudiera establecerse que la GTI funciona como el subsistema más importante de la gestión del conocimiento [4].

Este trabajo tiene como objetivo presentar una propuesta de sistema de gestión tecnológica como componente de un sistema de gestión de conocimiento (SGC) diseñado para el sector nuclear y los resultados obtenidos con su implementación en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas adscrito a la Universidad de la Habana.

Materiales y métodos

El SGC permite la preservación del conocimiento así como contribuye a la toma de decisiones en la organización. Se concibió compuesto por tres sistemas (figura 1): el sistema de gestión tecnológica (SGT) con dos subsistemas: de gestión de tecnologías (GTecnologías) y de gestión de las TIC (GTIC); el sistema de gestión de capital humano (SGCH) conformado por tres subsistemas: gestión de graduados (GGraduados), planeación de FTC (Planeación FTC), gestión de formación y desarrollo de expertos y noveles (SGFyD Expertos y Noveles); y el sistema de gestión de información (SGI) donde se integra la información procedente de los dos sistemas anteriores configurado con dos subsistemas: de información de FTC, expertos, noveles y graduados (GIFTC Expertos, Noveles y Graduados); de información de tecnologías y TIC (GITecnologías y TIC).

El sistema de gestión tecnológica (SGT) responde a las preguntas relacionadas con ¿Dónde existe tecno-

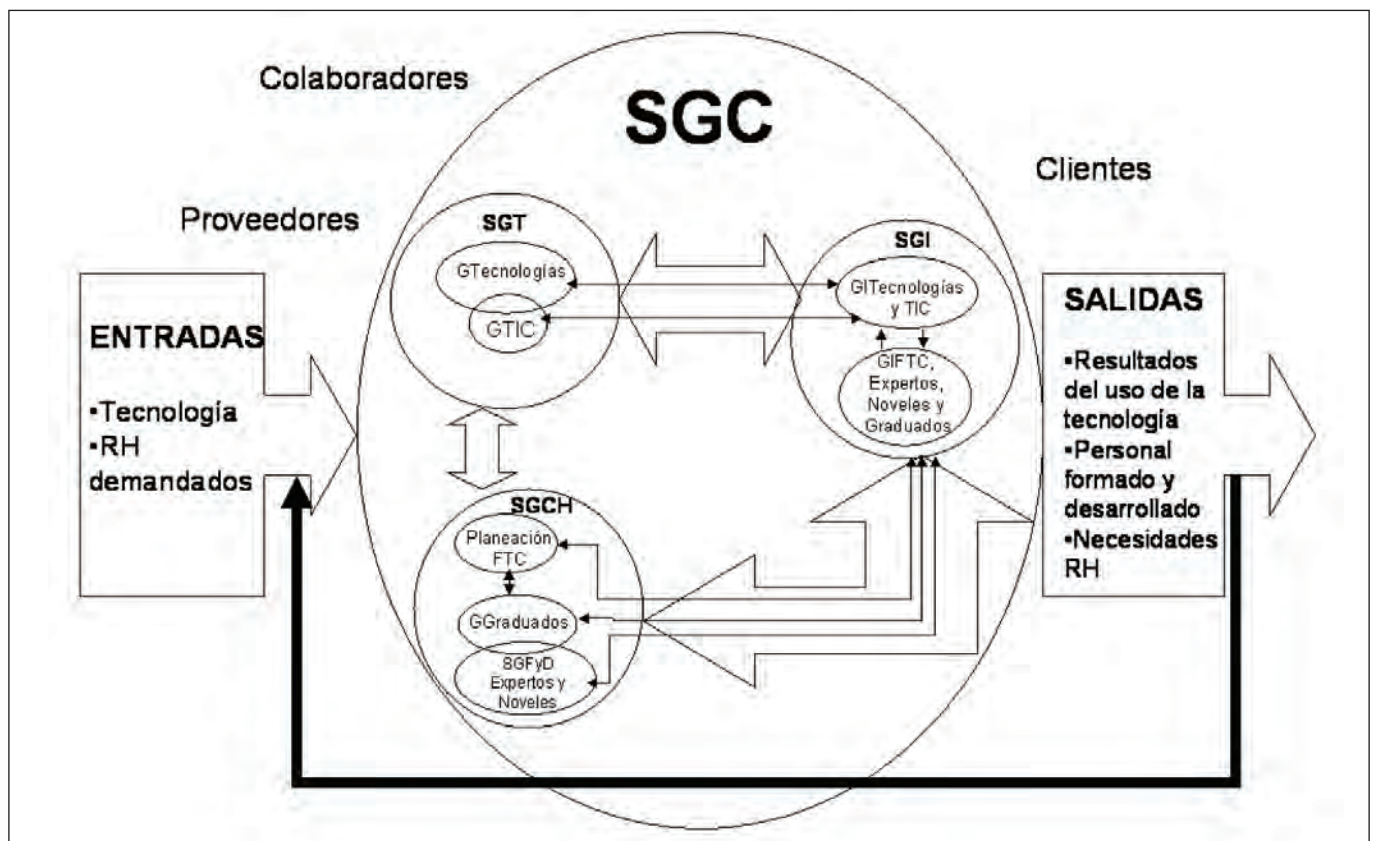


Figura 1. Modelo del sistema de gestión de conocimiento para el sector nuclear.

logía nuclear? ¿Cuáles resultados se obtienen con su uso?, asimismo, se identifica ¿Qué personal trabaja con la tecnología nuclear o va a trabajar? Entre sus funciones se realizan acciones de inventario de la tecnología nuclear, las TIC y otras de interés para el cumplimiento del objeto social de la organización; inventario de los resultados obtenidos con la utilización de la tecnología y de las personas que participan en su obtención; así como aquellas que dominan el uso de cada tecnología entre otras.

Diseño del sistema de gestión tecnológica

La tecnología es el resultado de un proceso de creación del conocimiento y a su vez, su utilización permite generar nuevo conocimiento. De ahí que conocer cómo se obtuvo; quiénes participaron en su obtención, desarrollo y/o implementación; cómo funciona u opera, son aspectos importantes para la gestión del conocimiento pero también lo es conocer los resultados que se han obtenido con su utilización; qué otras personas dominan su funcionamiento, entre otros. Registrar estas informaciones permite su acceso en cualquier momento que se necesite, además, en ausencia del personal creador/desarrollador de la tecnología se puede consultar a aquellas otras personas que dominan su funcionamiento/uso. Por otra parte, esto facilita la inclusión de elementos de gestión del conocimiento en el modelo de gestión tecnológica que se emplee en la organización al identificarse el valor agregado reflejado en la componente intangible asociada a cada tecnología y de esa manera lograr una socialización entre gestores y creadores/ desarrolladores/usuarios.

El diseño del sistema se basa en el concepto de gestión tecnológica propuesta por Castro quien la define como el “proceso de gestionar todas aquellas actividades que capaciten a la empresa para hacer el uso más eficiente de la tecnología generada internamente y adquirida a terceros, así como de incorporarla a los nuevos productos (innovación de productos), y a las formas en que los producen y se entregan al mercado (innovación de proceso). Este proceso conduce a un incremento de los conocimientos que va a contribuir a una mejora de las capacidades de innovación de la empresa...” [5].

El sistema de gestión tecnológica se diseña para gestionar las tecnologías nucleares y conexas y las TIC asociadas a estas. En el proceso de gestión tecnológica se particulariza en aquellas actividades que contribuyen a la GC en la organización. Las tecnologías nucleares y las TIC cumplen diferentes funciones en los procesos que se desarrollan en las organizaciones nucleares, es por esta razón que se propone gestionarlas por separado, por lo que este sistema está compuesto por dos subsistemas: de gestión de tecnologías (GTecnologías) y de gestión de las TIC (GTIC).

Diseño del sistema de gestión de tecnologías

La gestión del conocimiento se plantea que abarca todas las fases operacionales de una instalación, tecnología y aplicación nuclear para garantizar una operación segura durante todo su tiempo de vida útil [6], por lo que la gestión de la tecnología como componente del SGC se inicia desde la etapa de proyección de la adquisición/ desarrollo con la identificación de la tecnología, culmina con su cierre/desuso (interrupción o cese de uso) y determinación del destino final de dicha tecnología lo que incluye el reconocimiento legal y su registro como patrimonio tecnológico. También, debe garantizarse la transferencia del conocimiento de una fase a otra.

La gestión tecnológica se realiza sobre la base del modelo presentado por Elías y Díaz para la gestión del patrimonio tecnológico, quienes modificaron el modelo propuesto por la fundación COTEC para la innovación tecnológica, desarrollado por Jackes Morin y Richard Seurat en el año 1987, al mantener las etapas de inventario, evaluación y vigilancia tecnológica e incorporar el valor intangible agregado por el trabajo con la tecnología [7] (figura 2).

El inventario de la tecnología permite identificar y caracterizar la tecnología a través de la recolección de información sobre su origen, tipo, descripción, historia, estado de conservación, uso actual; además, para determinar su valor intangible: las personas que tienen relación con la tecnología (creadores o desarrolladores si se conoce, aquellos que participaron en su instalación/ implementación, operadores/usuarios, responsables, otros que se considere debidamente identificados), la actividad desarrollada y los resultados obtenidos. Se

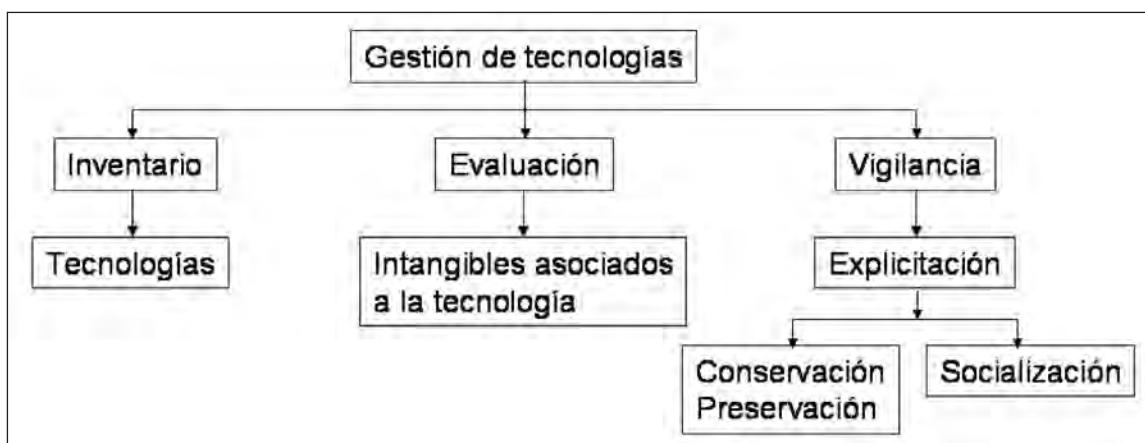


Figura 2. Modelo de gestión de la tecnología empleado en el SGC para el sector nuclear.

elabora un expediente para cada tecnología donde se archivan la planilla de inventario con los anexos correspondientes. Anualmente se actualiza la información con las acciones desarrolladas en el período y posibles incidencias con relación a modificaciones o movimientos ejecutados (secciones Uso actual, Estado de conservación y Transferencia).

La evaluación consiste en, a partir del intangible asociado a la tecnología (métodos empleados, resultados obtenidos), realizar una valoración de los resultados obtenidos en las actividades y acciones que se desarrollaron, lo que permite trazar estrategias para incrementar su uso, desarrollar nuevas actividades y acciones (aplicaciones), incorporar otras personas a su uso/explotación, ejecutar acciones para garantizar un buen estado de conservación y funcionamiento, proponer mejoras al tener en cuenta las lecciones aprendidas, otros.

La vigilancia tecnológica se realiza tanto hacia el ámbito externo para conocer el estado del desarrollo de tecnologías similares y aparición de nuevas; mientras que, en el ámbito interno la vigilancia determina el desarrollo que alcanza la tecnología dentro de la institución durante el transcurso de su uso a través del seguimiento de los resultados obtenidos con la explotación/uso de la tecnología.

En el modelo de gestión propuesto por Elías y Díaz [7] se plantea que para realizar la vigilancia es necesaria la explicitación, lo que facilita el proceso de conservación/preservación y socialización. En el caso de la gestión de la tecnología para el SGC propuesto se mantiene este mismo objetivo.

Diseño del sistema de gestión de TIC

Las computadoras e impresoras son empleadas en la tecnología nuclear desde sus inicios cuando en las centrales nucleares era un componente principal en el sistema de control de los reactores nucleares. Por otra parte, en el desarrollo de las ciencias y la tecnología nuclear se utilizan y desarrollan diversos modelos matemáticos y simuladores soportados sobre las tecnologías de la informática y la comunicación. Muchas bases de datos nucleares y de información nuclear se encuentran

en redes internacionales que son accedidas por profesionales nucleares para poder realizar sus investigaciones.

El desarrollo alcanzado en las últimas décadas por las tecnologías de la informática y las comunicaciones (TIC) ha contribuido al perfeccionamiento de las tecnologías nucleares tanto desde el punto de vista del hardware como del software empleado. Las TIC se encuentran incorporadas a las tecnologías nucleares o de forma independiente como componente de dicha tecnología sin cuya existencia las segundas no pueden funcionar correctamente o el operador/usuario no puede recibir información sobre los resultados obtenidos.

El sistema de gestión de las TIC (GTIC) responde a las preguntas siguientes: ¿cómo son usadas las computadoras existentes en una institución?; ¿cuáles son las aplicaciones informáticas más utilizadas por los usuarios de dicha entidad?; ¿las aplicaciones informáticas responden a las actividades que desarrolla el usuario en su puesto de trabajo? De esa manera pone de manifiesto la relación uso-aplicación-apropiación de las TIC y su valoración permite elaborar estrategias para el desarrollo tecnológico y organizacional de la institución así como la GC.

La gestión de las TIC se realiza sobre la base del modelo presentado para la gestión de las tecnologías nucleares.

El inventario de las TIC se realiza para identificar y caracterizar la tecnología (hardware), las herramientas informáticas (software) y los periféricos a ella conectados (tabla 1). Es importante señalar que se identifica si la TIC trabaja de forma independiente o es componente de una tecnología nuclear. Con relación a las actividades que se desarrollan se incorporan la gestión del conocimiento y las comunicaciones.

La evaluación reside en determinar la capacidad de respuesta que tiene la TIC empleada para que se desarrolle la actividad planificada, así como su estado de funcionamiento. El resultado de la evaluación permite trazar estrategias para garantizar el correcto funcionamiento de la TIC y de la tecnología a la que se encuentra asociada; valorar la posibilidad de sustitución, adaptación y mejoramiento de la tecnología; convertir la expe-

Tabla 1. Planilla de inventario de tecnologías de la informática y las comunicaciones.

INSTITUCIÓN		No. INVENTARIO
SECCIÓN		
DENOMINACIÓN		NOMBRE
PERSONA O INSTITUCIÓN QUE SE RELACIONA CON LA TECNOLOGÍA		
OTRAS PERSONAS O INSTITUCIONES QUE SE RELACIONAN CON LA TECNOLOGÍA		
ORIGEN (obtención de la tecnología):		MODO DE OBTENCIÓN
PAÍS	FECHA	
TIPO DE TECNOLOGÍA		
DESCRIPCIÓN		
MANUFACTURA Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO		
RÉGIMEN DE TRABAJO PRINCIPAL		
Tipo de régimen: Autónomo <input type="checkbox"/> Componente <input type="checkbox"/> Periférico <input type="checkbox"/> Conectado a		

HISTORIA:	
ACTIVIDAD DESARROLLADA: Tipo de actividad: I+D+i <input type="checkbox"/> servicios <input type="checkbox"/> producción <input type="checkbox"/> docencia <input type="checkbox"/> comunicaciones <input type="checkbox"/> gestión del conocimiento <input type="checkbox"/> Cantidad de acciones por tipo de actividad	
RESULTADOS OBTENIDOS CON LA TECNOLOGÍA	
Cantidad de resultados obtenidos por acciones y tipo de actividad	
USO ACTUAL	
ESTADO DE CONSERVACIÓN	
TRANSFERENCIA (MOVIMIENTO)	
OBSERVACIONES	
UBICACIÓN ACTUAL	
REALIZÓ	FECHA

riencia alcanzada con el uso en producción/servicio y mantenimiento, y en procesos de aprendizaje, mediante la observación, registro y análisis de esa experiencia; otros.

La vigilancia se efectúa para dar seguimiento a la evolución de nuevas tecnologías, sistematizar las fuentes de información, vigilar la tecnología que poseen otras organizaciones.

Una validación de la factibilidad del uso de la planilla de inventario de tecnologías se realizó mediante el criterio de usuarios con el empleo del método de ladov [8] que calcula, a partir de los resultados obtenidos en una encuesta aplicada a los usuarios, los índices individuales y grupal de satisfacción.

Resultados y discusión

Las tecnologías nucleares identificadas se encuentran ubicadas en el departamento de Física Nuclear del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de la Universidad de La Habana. En el año 2009 se realizó el inventario tecnológico y se contaba con 7 tecnologías nucleares: tres espectrómetros, un equipo de fluorescencia de rayos X, un conjunto subcrítico (reac-

tor), un microtrón MT-25 y un reactor de potencia cero. En el presente, son cinco componentes tecnológicos, donde el 100 % se encuentra en uso, con fines docente investigativos [7].

En la actualización del inventario realizada en el año 2019, como parte de esta investigación, se lograron registrar una gran cantidad de resultados obtenidos durante la explotación del conjunto subcrítico así como del resto de las tecnologías. Por la riqueza de su historia y la importancia que ha tenido para la formación de profesionales en la rama nuclear del país, se considera que el conjunto subcrítico posee características reales para optar por la categoría de patrimonio tecnológico de la organización y presentar su expediente ante el Registro Nacional de Bienes Culturales de la República de Cuba, para su posible declaración.

La planilla de inventario tecnológico del conjunto subcrítico se muestra parcialmente en la tabla 2 donde se relacionan las prácticas de laboratorio que se ejecutan, los trabajos de diploma y tesis de maestría que se han desarrollado en la instalación, así como las publicaciones. La planilla junto con las fichas de los trabajos realizados conforman el expediente de cada tecnología nuclear.

Tabla 2. Planilla de inventario del conjunto subcrítico.

INSTITUCIÓN Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC)		No. INVENTARIO
SECCIÓN Laboratorio del conjunto subcrítico (departamento Física Nuclear)		
DENOMINACIÓN Reactor subcrítico de uranio natural – agua ligera (conjunto subcrítico)		
PERSONA O INSTITUCIÓN QUE SE RELACIONA CON LA TECNOLOGÍA Profesor 1 (2013) Profesor 2 (2014 – a la fecha)		
OTRAS PERSONAS O INSTITUCIONES QUE SE RELACIONAN CON LA TECNOLOGÍA Profesor 3, Profesor 4, Especialista 1, Especialista 2		
ORIGEN (obtención de la tecnología):		MODO DE OBTENCIÓN Donación
PAÍS URSS	FECHA 1968	
CONSTRUCCIÓN/DESARROLLO		CONSTRUCTOR/DESARROLLADOR
PAÍS URSS	FECHA	

TIPO DE TECNOLOGÍA Dura	
DESCRIPCIÓN El conjunto subcrítico está constituido por un tanque cilíndrico de aluminio de 120 cm de altura por 125 cm de diámetro, dentro del cual se encuentra el medio multiplicativo compuesto por agua ligera como moderador y uranio como combustible. Este tanque está situado sobre un bloque de grafito (de 125 cm de arista por 60 cm de alto) que realiza la función de reflector de neutrones...	
MANUFACTURA Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO Un conjunto subcrítico es un arreglo de combustible nuclear en un medio moderador y otros materiales asociados situados en una disposición simulando una porción del núcleo de un reactor nuclear. Este conjunto causa la multiplicación de la densidad de los neutrones obtenidos de una fuente externa de neutrones. La multiplicación es adecuada para mantener un nivel constante del flujo neutrónico en el conjunto, pero es insuficiente para causar una reacción en cadena autosostenida...	
HISTORIA: En 1968 se instala y comienza a operar en el Instituto de Física Nuclear posteriormente Instituto de Investigaciones Nucleares, en Managua. Allí se inició la formación de físicos nucleares con estudiantes procedentes de la carrera de Física. En el año 1970 se inicia la formación de ingenieros nucleares con un primer curso de 6 meses de duración y 7 estudiantes procedentes de las carreras de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Mecánica. Continúa la formación de ingenieros y físicos nucleares. En el período 1982-1987, en la recién creada Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares (9 de marzo de 1981), se desarrollan las obras de modificación del local donde actualmente se encuentra ubicado el conjunto subcrítico...	
ACTIVIDAD DESARROLLADA: Tipo de actividad: I+D+i <input checked="" type="checkbox"/> Servicios <input type="checkbox"/> producción <input type="checkbox"/> docencia <input checked="" type="checkbox"/> Cantidad de acciones por tipo de actividad Prácticas de laboratorio: 8 prácticas por 3 grupos de estudiantes (1 de cada carrera nuclear) que se realizan anualmente (1987-2011); 13 (2012-2013) Trabajos de diploma: 4 Tesis de maestría: 2 Tesis de doctorado: 0 Publicaciones: 2	
RESULTADOS OBTENIDOS CON LA TECNOLOGÍA Cantidad de resultados obtenidos por acciones y tipo de actividad Prácticas de laboratorio: mínimo 24 (1987-2011); mínimo 29 (2012-2013). Trabajos de diploma: 4 Tesis de maestría: 2 Tesis de doctorado: 0 Publicaciones: 2 Observación: Consultar anexos con relación de las prácticas de laboratorio, trabajos de diploma y tesis de posgrado.	
USO ACTUAL Impartición de prácticas de laboratorio Desarrollo de investigaciones para trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorado	
ESTADO DE CONSERVACIÓN Buena	
TRANSFERENCIA (MOVIMIENTO) 1968 – Instalación en el Instituto de Física Nuclear (donación de la URSS) 1986 – Instalación en la Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares (transferencia)	
OBSERVACIONES Esta tecnología se encuentra bajo salvaguardia del Organismo Internacional de energía Atómica. Mantiene su licencia para la etapa de operación, que autoriza la realización de actividades asociadas al uso de fuentes radiactivas.	
UBICACIÓN ACTUAL Laboratorio del conjunto subcrítico (departamento de Física Nuclear, InSTEC)	
REALIZÓ Lubia Díaz Bernal Lidia Lauren Elías Hardy	FECHA 6/05/2009 10/09/2019

La figura 3 muestra las actividades desarrolladas en las diferentes tecnologías y sus resultados. Se tomó el período 2007 – 2019 debido a que las tecnologías nucleares, excepto el conjunto subcrítico transferido al centro por el Instituto de Física Nuclear en el año 1986, fueron adquiridas en el año 2005 a través de un proyecto de colaboración internacional financiado por el OIEA. Tecnologías similares se encuentran en uso en otras instituciones nucleares.

Se observa que en todas las tecnologías se desarrollan prácticas de laboratorio pero la mayor cantidad

se ejecuta en el conjunto subcrítico. Con relación a los trabajos de diploma y tesis de maestría se realizan en tres de las tecnologías, donde la mayor utilización ha sido del espectrómetro de fluorescencia de rayos X y en segundo lugar el sistema de espectrometría gamma (figura 4). Los resultados demuestran la gran importancia que revisten estas tecnologías para la formación de los profesionales nucleares, quienes desarrollan habilidades con su uso.

Después de presentada la planilla de inventario a 7 profesores y especialistas que emplean usualmente las

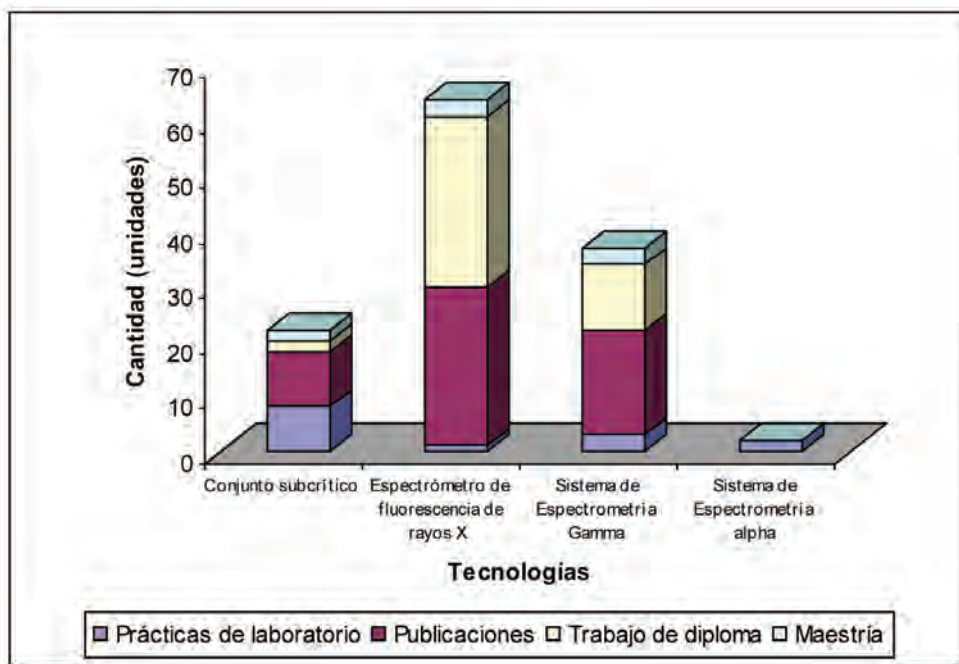


Figura 3. Actividades desarrolladas en las tecnologías nucleares y resultados (período 2007 – 2019).

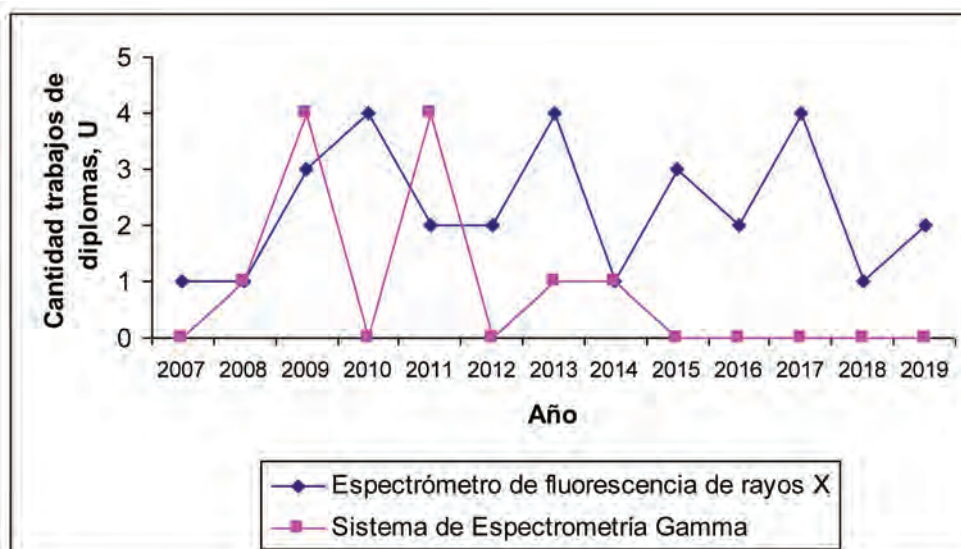


Figura 4. Distribución de los trabajos de diploma desarrollados en los espectrómetros gamma y de fluorescencia de rayos X.

tecnologías nucleares en su práctica docente-investigativa y son responsables del cumplimiento de las normas de seguridad y protección radiológica en su uso se aplicó una encuesta cuyas preguntas 1, 3 y 5 se utilizaron en el cuadro de ladov (tabla 3). Como resultado del tratamiento de las respuestas brindadas, se obtuvo un índice grupal de satisfacción igual a +1, lo que expresa un máximo de satisfacción con la implementación de la plantilla de inventario de tecnologías empleada para el registro de las tecnologías nucleares.

Las respuestas a las preguntas 2 y 4 manifiestan la importancia que los participantes en la consulta le conceden a la plantilla de inventario (pregunta 2), al manifestar que “recolecta datos relacionados con las tecnologías nucleares, convirtiéndose de este modo en una herramienta útil de trabajo por la disponibilidad de

información científica y tecnológica que suministran; asimismo, se documenta todo lo relacionado con las actividades y la historia de la tecnología, lo que ayuda a comprender su desarrollo e importancia durante todos estos años.

Sobre los aspectos que potencian o limitan el uso de la planilla de inventario de tecnologías presentada (pregunta 4) declaran que: lo potencia “la valiosa información que proporciona pues entre muchas utilidades es un referente histórico”; además, “se documentan todas las actividades científicas relacionadas con la tecnología, lo que demuestra su uso durante los años de explotación, lo que sirve para darle un seguimiento, en el tiempo, de las investigaciones, laboratorios y publicaciones realizadas”.

Tabla 3. Cuadro lógico de ladov

Pregunta 5: ¿Le gusta la forma en que se diseñó la planilla y la información que contiene?	Pregunta 1: ¿Se siente satisfecho con el resultado que se ha obtenido con la planilla de inventario de la tecnología nuclear presentada?								
	Sí			No sé			No		
	Pregunta 3: ¿Siente Usted que esta herramienta le es útil para ser utilizada en la gestión de las tecnologías nucleares existentes en el instituto?								
	Sí	No sé	No	Sí	No sé	No	Sí	No sé	No
Me gusta mucho	1	2	6	2	2	6	6	6	6
Me gusta más de lo que me disgusta	2	2	3	2	3	3	6	3	6
Me es indiferente	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Me disgusta más de lo que me gusta	6	3	6	3	4	4	3	4	4
No me gusta	6	6	6	6	4	4	6	4	5
No puedo decir	2	3	6	3	3	3	6	3	4

Conclusiones

La tecnología es el resultado de un proceso de creación del conocimiento y su utilización permite generar nuevo conocimiento.

La gestión tecnológica como componente del SGC se inicia desde la etapa de proyección de la adquisición/ desarrollo, culmina con su cierre/desuso (interrupción o cese de uso) y determinación del destino final de dicha tecnología lo que incluye el reconocimiento legal y su registro como patrimonio tecnológico. Asimismo, debe garantizarse la transferencia del conocimiento de una fase a otra.

El sistema de gestión tecnológica propuesto se diseñó para gestionar las tecnologías nucleares y conexas y las TIC asociadas a estas. Está compuesto por dos subsistemas: de gestión de tecnologías y de gestión de las TIC.

La planilla de inventario de tecnologías permite identificar y caracterizar la tecnología a través de la recolección de información sobre su origen, tipo, descripción, historia, estado de conservación, uso actual; además, para determinar su valor intangible: las personas que tienen relación con la tecnología, la actividad desarrollada y los resultados obtenidos.

Como resultado de la implementación del sistema de gestión tecnológica se realizó el inventario de cuatro tecnologías nucleares instaladas y en explotación en el centro objeto de estudio. Se identificó, recuperó y registró una gran cantidad de los resultados obtenidos con la explotación de esas tecnologías, fundamentalmente prácticas de laboratorio, artículos, trabajos de diploma y tesis de maestría lo que incrementó el repositorio bibliográfico de la organización.

El claustro de profesores y el personal técnico que explotan las tecnologías nucleares inventariadas expresaron un máximo de satisfacción con la implementación de la plantilla de inventario de tecnologías y reconocieron la importancia que esta herramienta reviste por la disponibilidad de información científica y tecnológica que suministran, asimismo, se documenta todo lo relacionado con las actividades y la historia de la tecnología, lo que ayuda a comprender su desarrollo e importancia durante los años de uso.

Referencias bibliográficas

- [1]. SÁEZ VACAS F, GARCÍA O, PALAO J & ROJO P. Innovación Tecnológica en las empresas. Temas básicos. Madrid: Ed. Universidad Politécnica de Madrid, 2003.
- [2]. ZORRILLA H. La gerencia del conocimiento y la gestión tecnológica. Boletín Management en Salud. 2006; (44). Buenos Aires.
- [3]. ARMENTEROS MC & GARCÍA C. Enfoques y técnicas para la gestión de las capacidades tecnológicas. Experiencias en organizaciones cubanas. Memorias del Encuentro Nacional de Gestión del Conocimiento y Empresas de Alto Desempeño TECNOGEST 2005. La Habana, Cuba. 2005.
- [4]. SUÁREZ MELLA R. Algunas consideraciones sobre Gestión de la innovación y la tecnología en el Turismo (monografía). Facultad de Industrial Economía, Centro de Estudios de Turismo, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", diciembre 2005.
- [5]. CASTRO DÍAZ-BALART F. Ciencia, innovación y futuro. La Habana: Ed. Instituto del Libro (Ediciones especiales), 2001.
- [6]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Knowledge loss risk management in nuclear organizations. STI/PUB/1734. IAEA Nuclear Energy Series no. NG-T-6.11 ISBN 978-92-0-101816-8. Vienna: IAEA, 2017.
- [7]. ELÍAS HARDY LL & DÍAZ BERNAL L. La gestión del patrimonio tecnológico en las universidades. Revista Congreso Universidad. 2017; 6(6): 1-16 [consulta: 16 de marzo 2019]. Disponible en: <http://www.congresouniversidad.cu/revista/index.php/congresouniversidad/index>
- [8]. FERNÁNDEZ DE CASTRO A & LÓPEZ A. Validación mediante criterio de usuarios del sistema de indicadores para prever, diseñar y medir el impacto en los proyectos de investigación del sector agropecuario. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2014; 23(3): 77-82.

Recibido: 14 de junio de 2021

Aceptado: 21 de julio de 2021

Estrategia de gestión del conocimiento nuclear desde la Red de Jóvenes Nucleares de Cuba

Luis Enrique Llanes Montesino¹, Berta García Rodríguez², Lidia Lauren Elías Hardy¹, Florentino Arnaldo López Núñez¹

¹Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC) de la Universidad de La Habana

²Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (Aenta)

enrique@instec.cu, berta@aenta.cu, lauren@instec.cu, farnaldo@instec.cu

Resumen

Especial atención presta el Organismo Internacional de Energía Atómica a las actividades relacionadas con la preservación del conocimiento nuclear y su transferencia a las nuevas generaciones. Para lograr una mejor gestión del conocimiento nuclear en el marco de las acciones nacionales previstas dentro del proyecto regional RLA 0057 se creó la Red de Jóvenes Nucleares de Cuba. Desde su concepción pretende proporcionar un espacio de intercambio de conocimientos para la divulgación y el desarrollo de las tecnologías nucleares con fines pacíficos. En este trabajo se presenta una estrategia educativa diseñada, con la colaboración del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de la Universidad de La Habana y la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada, cuyo impacto resulta en un incremento de la participación de los jóvenes estudiantes y profesionales del sector en la promoción y desarrollo de las aplicaciones nucleares. Además, se muestran los resultados del plan de acción que se ejecutó en el bienio 2019-2020 como parte de dicha estrategia. La estrategia descrita y las acciones desarrolladas para ejecutarla tuvieron un impacto directo en la participación más activa de los jóvenes estudiantes y profesionales del sector en la promoción y desarrollo de las aplicaciones nucleares. Asimismo, los resultados de la aplicación del plan de acciones propuesto demostraron la pertinencia de dicha estrategia para lograr los objetivos trazados por la red.

Palabras clave: gestión del conocimiento; herramientas educacionales; educación; comunicaciones; juveniles; energía nuclear; transferencia tecnológica.

Nuclear knowledge management strategy from Cuban Nuclear Youth Network

Abstract

Special attention to activities related to the preservation of nuclear knowledge and its transfer to new generations has given the International Atomic Energy Agency. In order to achieve a better nuclear knowledge management within the framework of the national actions foreseen within the regional project RLA 0057, the Cuban Youth Nuclear Network was created. Since its conception, it aims to provide a space for the exchange of knowledge for the dissemination and development of nuclear technologies for peaceful purposes. This work presents an educational strategy designed with the collaboration of the Higher Institute of Technologies and Applied Sciences of the University of Havana and the Agency for Nuclear Energy and Advanced Technologies, whose impact will result in an increase in the participation of young students and professionals in the sector in the promotion and development of nuclear technologies. As part of this strategy, an action plan was executed in the 2019-2020 biennium, the results of which are shown. The strategy described and the actions developed to execute it had a direct impact on the more active participation of young students and professionals in the sector in the promotion and development of nuclear applications. Likewise, the results of the application of the proposed action plan demonstrated the relevance of said strategy to achieve the objectives set by the network.

Key words: knowledge management; educational tools; education; communications; juveniles; nuclear energy; technology transfer.

Introducción

La gestión del conocimiento nuclear es un método sistemático e integrado aplicado a todas las etapas del ciclo de conocimiento nuclear, incluyendo su identificación, compartición, protección, diseminación, preservación y la transferencia correspondiente para alcanzar objetivos específicos [1]. Dicha gestión busca volver explícito la mayor cantidad de conocimiento implícito y tácito para resguardar la información, proteger la memoria institucional, capacitar a las personas y producir conocimiento innovador, elevando el valor de la organización [2].

La creación de redes de personas constituye una herramienta fundamental para lograr una mejor gestión del conocimiento nuclear y en el caso de Cuba se definió, desde mediados del 2018, como una de las acciones nacionales previstas para cumplir los compromisos de trabajo del proyecto regional con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) RLA 0057: *Mejora de la Enseñanza, la Capacitación, la Divulgación y la Gestión de Conocimiento en la Esfera Nuclear*.

Con la colaboración del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de la Universidad de La Habana (InSTEC) y la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (Aenta), se evaluó el impacto que podría tener, en el contexto actual, la fundación de una red que promoviera una participación más activa de los jóvenes estudiantes y profesionales del sector en la promoción y desarrollo de las aplicaciones nucleares. Esta organización, además, lograría avances hacia la integración a la actividad nuclear de la región. En este marco, y siendo nuestro país miembro de la Asociación de Jóvenes Nucleares Latinoamericanos (AJNL), se creó la Red de Jóvenes Nucleares de Cuba (JovNuC), cuyo objetivo fundamental es proporcionar un espacio de intercambio de conocimientos para la divulgación y el desarrollo de la ciencia y las tecnologías nucleares con fines pacíficos, que permita la integración entre los miembros provenientes de todo el país, así como la realización de

proyectos y acciones que deriven en beneficios para la sociedad cubana y la región latinoamericana. Desde la red JovNuC se identificaron entonces los elementos fundamentales para el diseño de una estrategia educativa de gestión del conocimiento nuclear y se concibió un plan de acción bianual que responde a los objetivos de dicha estrategia.

La novedad científica está dada por el hecho mismo de la aplicación práctica y efectiva de dicha estrategia a partir de los resultados que se constataron luego de ejecutado el plan de acción desde la Red JovNuC durante los años 2019 y 2020, incluyendo los retos impuestos por la COVID-19 en el último año.

Desarrollo de la estrategia y el plan de acción

Elementos básicos de la estrategia

Una estrategia efectiva de gestión del conocimiento combina tres elementos básicos: las personas, los procesos y las herramientas, operando dentro de una cultura organizacional que reconoce el valor del conocimiento nuclear [3, 4]. A la hora de diseñar la estrategia uno de los factores clave en su éxito es que su propósito responda a retos y objetivos de la organización en sí misma, pero sin obviar la dinámica de intercambio y colaboración con el entorno que suponen importantes retos operativos y culturales. Es por ello que es necesario articular estrategias de gestión de conocimiento en un contexto dinámico que permitan adaptarlas al propósito, enfoque, realidad y madurez de la organización [5, 6].

Si se revisa la literatura existente son múltiples los criterios a la hora de definir los tipos de estrategias, pero de manera general se pueden agrupar en 8 grandes grupos estratégicos en función del objetivo al que se dirigen y las características propias de la organización (figura 1). Adicionalmente hay que agregar que por la general los objetivos que se buscan alcanzar sólo se logran con una estrategia mixta ya sea porque cambia en el tipo transitando de un grupo a otro, o sencillamente porque uno sirve de soporte a otro [2].



Figura 1. Tipos de estrategia en función del objetivo al que se dirigen y las características de cada organización.

De la estrategia al plan de acción nacional propuesto dentro de la red

A partir de la combinación de los grupos expuestos anteriormente la propuesta de estrategia se basó en la matriz descrita por García B. en el 2017 como parte del desarrollo de una estrategia de gestión del conocimiento en el marco de la cooperación técnica, representada en la figura 2. Esta tiene como objetivo final la creación de competencias en los especialistas vinculados a la introducción de las nuevas tecnologías de manera eficiente, entendiéndose por “eficiente” lograr el resultado en el menor tiempo posible con un acortamiento de la curva de aprendizaje, sin límites geográficos dentro del país y con un uso racional de los recursos financieros, humanos y tecnológicos.

Tomando como base la matriz representada en la figura 2 se elaboró el plan de acción nacional que desde la Red de Jóvenes Nucleares de Cuba se ejecutó en



Figura 2. Matriz de la estrategia de gestión del conocimiento [2].

los años 2019 y 2020. En estos dos primeros años se priorizaron las acciones relacionadas con los elementos de la estrategia: Divulgación, Aprovechar ideas, Acceso a los contenidos, Crear comunidades de trabajo y

Tabla 1. Acciones para el bienio 2019-2020 y su correspondencia con los elementos de la estrategia educativa de la red JovNuC.

No.	Acciones	Divulgación	Aprovechar ideas	Acceso a los contenidos	Crear comunidades de trabajo	Vigilancia tecnológica	Aprovechar el conocimiento de los expertos	Transferir conocimiento	Crear competencias
1	Proporcionar espacios de intercambio para la divulgación de conocimientos y el desarrollo de la ciencia y la tecnología nucleares			X					
2	Realizar actividades de puertas abiertas a los centros nucleares cubanos para estudiantes de grado 12 y para aquellos de perfil nuclear	X	X				X		
3	Articular una red de círculos de interés en diversas escuelas primarias de la capital, así como en otros niveles educacionales	X	X	X	X		X	X	
4	Crear plataformas digitales y redes sociales para la divulgación de conocimientos y la promoción de eventos, talleres y uso de nuevas	X							
5	Conectar el trabajo de la Red JovNuC con los medios de comunicación fundamentales a nivel	X							
6	Lanzar en formatos impreso y digital el boletín de la Red JovNuC	X							
7	Desarrollar talleres de liderazgo y de gestión del conocimiento nuclear en universidades y centros						X	X	X
8	Promover eventos como el IYNC WIN 2018, a nivel regional, nacional y en zonas rurales y urbanas	X	X				X	X	
9	Desarrollar actividades de orientación vocacional desde edades tempranas en escuelas y en preuniversitarios de ciencias	X							
10	Concluir la elaboración de una multimedia sobre aplicaciones nucleares con fines pacíficos en Cuba y en el mundo					X	X	X	
11	Promover la realización de actividades de monitoreo y saneamiento en las playas, ríos y otros ecosistemas mediante el uso de técnicas nucleares	X	X		X		X	X	X

Aprovechar el conocimiento de los expertos. Los aspectos esenciales que recoge dicho plan de acción y su correspondencia con los elementos de la estrategia se presentan en la tabla 1.

Resultados del plan de acción propuesto

Con el apoyo de varios especialistas cubanos y el protagonismo de un grupo de jóvenes provenientes tanto del sector nuclear como de otras áreas que respaldan los objetivos de la red (comunicadores, diseñadores, periodistas) se fue logrando la ejecución de las acciones propuestas. De esta manera se concluyeron, bajo un diseño amigable para los jóvenes, las páginas oficiales de JovNuC en Facebook, Instagram y Twitter que han sido de elevada utilidad para la divulgación científico-nuclear y la interacción con diversos tipos de público. Actualmente dichas plataformas sobrepasan los 700 seguidores y las publicaciones que se suben llegan a alcanzar más de 1100 vistas. También, se lanzaron los concursos *Átomos por la Paz* y *40 aniversario del InSTEC*, con los objetivos de generar materiales divulgativos sobre aplicaciones nucleares y potenciar la investigación científica en los jóvenes para el beneficio de la sociedad cubana, respectivamente. Ambos certámenes contaron con una elevada participación de jóvenes profesionales nucleares y de otras ciencias afines en la modalidad de poster divulgativo y científico.

Por otra parte, se establecieron vínculos con los medios informativos del país, entre ellos *Canal Educativo*, *Agencia Cubana de Noticias (ACN)*, *Semanario Tribuna de La Habana*, *Revista Juventud Técnica*, así como con espacios de divulgación científica que operan en Telegram como *El Radical Libre*, *ConCienciAndo*, *Revista Encuentro con la Química* y el podcast *Radioactive*. Dichos medios han servido como herramientas para diseminar y compartir informaciones permitiendo que las personas a las cuales llegan se apropien de

conocimiento y motivación, sobre todo en medio de las actuales condiciones de aislamiento que ha impuesto la COVID-19; han divulgado los ganadores de los concursos que lanzó JovNuC y han publicado entrevistas realizadas a los jóvenes estudiantes y profesionales del sector, donde se exponen sus más diversas experiencias.

Asimismo, se desarrolló un programa de puertas abiertas a los centros nucleares para alumnos de duodécimo grado (figura 3), lo cual despierta positivamente el interés por las ciencias nucleares. Dicho programa, unido al proyecto de extensión universitaria del InSTEC, para incrementar la orientación vocacional de los estudiantes de la enseñanza preuniversitaria que se desarrollan en las denominadas semanas de aporte social, demostró la capacidad de la red para integrarse y enriquecer las estructuras y actividades vocacionales ya existentes que llegan a todo el país. Durante quince días cada año en el mes de abril se distribuyen por provincias los estudiantes universitarios matriculados en el instituto y se envían a realizar esta labor de orientación hacia las carreras nucleares en las escuelas. Como resultado de ello se han logrado romper viejos estereotipos que ponían en duda la idoneidad de la mujer para estudiar una carrera con perfil nuclear. Se constató que en los últimos dos cursos el InSTEC recibió un incremento en la cantidad de estudiantes mujeres que matricularon el primer año de las carreras con perfil nuclear con relación a años anteriores.

Durante los cursos escolares 2018-2019 y parte del 2019-2020 se llevaron a cabo varias ediciones de las ferias de experimentos durante las cuales el instituto (InSTEC) se convierte en un espacio público de intercambio sobre las formas, vías y medios de transmitir el quehacer científico-técnico en el sector. Por lo general se realiza un aviso a través de la televisión nacional y ese fin de semana muchos padres conducen a sus hi-



Figura 3. Visita programada a la Aenta de los estudiantes del colegio universitario de grado 12 en 2019



Figura 4. Debate en el INSTEC con la especialista de la AENTA Ing. Berta García.

jos y reciben también la información y las charlas. La jornada incluye: exposiciones y experimentos sorprendentes de ciencia (de física y química), conversatorios y debates (para padres e hijos), actividades culturales, lanzamiento y venta de libros, concursos y juegos de participación para los más pequeños y para adolescentes y jóvenes.

Desde la universidad se fomentaron nuevos espacios de debates con especialistas de la Aenta para ofrecer información actualizada acerca de los repositorios y redes nucleares, así como del estado del arte de las principales técnicas nucleares, aprovechando el conocimiento de expertos cubanos (figura 4). Se realizaron ferias de conocimientos con experimentos físico-químicos, así como un fórum científico en el que jóvenes graduados de la esfera nuclear compartieron experiencias e investigaciones colectivas. Se proyectaron los documentales y las películas de Marie Curie. “Marie Curie, pasajes de su historia” y “Marie Curie, una mujer en el frente”, que acerca a los alumnos a la vida de la eminente científica, y destaca el papel de la mujer en la ciencia.

Se crearon círculos de interés en cuatro escuelas primarias de la capital, para despertar el interés por las ciencias desde edades tempranas, en específico, por las nucleares. Se llevaron al aula de los más pequeños rompecabezas de temática nuclear desarrollados por jóvenes de JovNuC y juegos de roles con las niñas y los niños, promoviendo el papel de la mujer en el ámbito científico (figura 5).

Jóvenes del sector nuclear tuvieron la oportunidad de participar en el Taller para Nuevos Líderes de América Latina y el Caribe en campos relacionados con la tecnología nuclear, realizado en octubre de 2019, donde recibieron charlas y conferencias de reconocidos expertos regionales; también se celebró el Primer Taller Nacional sobre los Jóvenes en las Aplicaciones Nucleares,

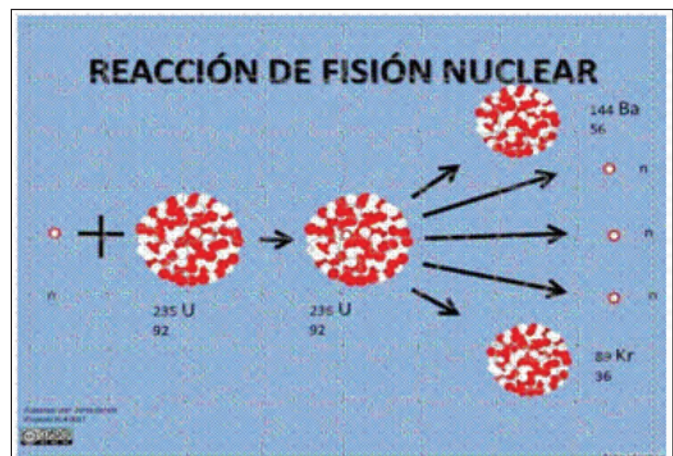


Figura 5. Ejemplo de rompecabezas utilizado en los círculos de interés en escuelas primarias de la capital.

en el marco del primer aniversario de JovNuC, en enero de 2020, que cumplió con uno de los objetivos de la red referido a crear espacios para que jóvenes cubanos (estudiantes y profesionales) puedan desarrollarse y crecer en el campo de las aplicaciones nucleares. Ese mismo año, en el mes de septiembre, la red colaboró con el capítulo cubano del WiN (Women in Nuclear, *por sus siglas en inglés*) en la organización del evento “Stand up for Nuclear”, como parte de la jornada internacional del mismo nombre, permitiendo la participación de varios miembros de la red de forma online.

En medio de la actual situación epidemiológica de Cuba y el resto del mundo se crearon grupos de Whatsapp que reúnen a miembros de la red, estudiantes de los colegios universitarios de grado 12 y otros jóvenes interesados en apoyar el trabajo de JovNuC. Dichos espacios funcionan como tipos de comunidades de trabajo y en uno de ellos se diseña y se realiza el montaje de la primera multimedia sobre las aplicaciones nucleares en Cuba, a partir del aprovechamiento de las ideas y el

conocimiento colectivo. Adicionalmente se comparten noticias e informaciones del quehacer nuclear foráneo e internacional, y se sostienen debates enriquecedores acerca de nuevas “formas de hacer”, más creativas y más adaptadas a los cambiantes escenarios en los que nos desarrollamos.

Miradas con perspectivas futuras

La Red de Jóvenes Nucleares de Cuba continuará adecuando su estrategia en correspondencia con las crecientes necesidades de una participación más activa de los jóvenes estudiantes y profesionales del sector en la promoción y el desarrollo de las aplicaciones nucleares. En lo inmediato las acciones están dirigidas a lograr la preparación de *webinars*, cursos y otras actividades interactivas online, junto al InSTEC, la Aenta y otros centros del sector, así como a crear una agenda de integración coordinada con otras redes de jóvenes nucleares de la región latinoamericana y el diseño de nuevos materiales digitales (aplicaciones para móviles) para la divulgación científico-nuclear.

Con la mirada hacia el futuro la red JovNuC tiene identificadas como metas a alcanzar en los próximos años las referidas a fortalecer las acciones de la red en las provincias del Centro y el Oriente del país, generar el desarrollo de proyectos de cooperación entre centros y miembros que deriven en beneficios para todos, promover la organización y desarrollo de campañas divulgativas a nivel nacional sobre los usos pacíficos de la energía nuclear, entre otras temáticas, establecer nuevas alianzas con universidades, centros de investigación, parques científico-tecnológicos y otros grupos de trabajo que apoyen el eficiente accionar de JovNuC.

Conclusiones

Consciente de la importancia de la gestión del conocimiento nuclear, la red JovNuC elabora metodologías y colabora con el InSTEC, la Aenta y otras instituciones para planificar, diseñar y ejecutar estrategias de gestión del conocimiento nuclear y promover la enseñanza en el ámbito nuclear en Cuba. La estrategia descrita y las acciones desarrolladas para ejecutarla tienen un impacto directo en la participación más activa de los jóvenes estudiantes y profesionales del sector en la promoción y desarrollo de las aplicaciones nucleares, además de que tienen un enfoque integrador pues conecta los tres elementos básicos involucrados en hacer más efectiva la gestión del conocimiento, considerando a todos los actores que desde su experiencia la hacen posible. Los resultados de la aplicación del plan de acciones propuesto en el período 2019-2020 muestran la pertinencia de dicha estrategia para lograr los objetivos trazados por la red JovNuC. Se recomienda continuar perfeccionando la estrategia, adaptándola a los nuevos escenarios.

Referencias bibliográficas

- [1]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Managing Nuclear Knowledge; Pocket Reference for Executives. Vienna: IAEA, 2009.
- [2]. GARCÍA RODRÍGUEZ B. Estrategia de gestión del conocimiento en el marco de la cooperación técnica. Segundo Simposio Internacional sobre Educación, Capacitación, Extensión y Gestión del Conocimiento en Tecnología Nuclear. Buenos Aires, Argentina. 13 al 17 de noviembre 2017.
- [3]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Knowledge management and its implementation in nuclear organizations. Nuclear Energy Series No. NG-T-6.10. 2016. [consulta: 20 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://www.iaea.org/Publications/index.html>.
- [4]. MARTÍN DEL CAMPO C. La importancia de la gestión del conocimiento nuclear en la formación de profesionales. Simposio Internacional sobre Educación, Capacitación y Gestión del Conocimiento en Energía Nuclear y sus Aplicaciones. Cusco, Perú. 22 al 26 de noviembre 2015.
- [5]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Interactive training course on nuclear knowledge management. Part 1. Training Course Series 43. Vienna, 2010.
- [6]. YANEV Y. Nuclear knowledge management. A review of achievements, recommendations and framework for future development. Prepared for WATEC 2005 meeting. Vienna: IAEA, 2005.

Recibido: 10 de mayo de 2021

Aceptado: 21 de julio de 2021

Integración de las técnicas analíticas nucleares en la caracterización de peloides cubanos. Caso de estudio: San Diego de los Baños

Margaret Suárez Muñoz¹, Oscar Díaz Rizo¹, Patricia González Hernández², Clara Melián Rodríguez¹, Alina Gelen Rudnikas¹, Cristina Díaz López², Aurora Pérez-Gramatges³, Nadia Martínez-Villegas⁴, Josiel de Jesús Barros Cossio⁵, Wael Badawy⁶, Marina Frontasieva⁶, Keila Isaac Olive⁷, Rebeca Hernández Díaz⁸.

¹Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (Instec), Universidad de La Habana. Cuba,

²Facultad de Química, Universidad de la Habana. Cuba,

³Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (PUC-Rio). Brasil,

⁴Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). México,

⁵Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. Instituto Politécnico Nacional, México,

⁶Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares, Dubna, Rusia,

⁷Universidad Autónoma del Estado de México, México,

⁸Universidad "Hermandad Saíz", Pinar del Río, Cuba.

margaret@instec.cu; odrizo@instec.cu

Resumen

Los peloides son productos naturales (sedimentos) que se utilizan en el tratamiento médico de diferentes patologías y debido a su empleo terapéutico en humanos, su caracterización química es de gran importancia para esclarecer la presencia de elementos o compuestos con posible acción biológica que fundamenten su uso terapéutico y lograr un uso más eficiente de los mismos; y controlar su calidad, con vistas a su empleo con fines terapéuticos. En el presente trabajo se presentan los principales resultados alcanzados en la aplicación integrada de las técnicas analíticas nucleares en la caracterización de peloides cubanos (fangos medicinales), ejemplificados a través del caso de estudio del peloide de San Diego de los Baños (Pinar del Río). El empleo de técnicas nucleares para la caracterización del peloide de San Diego de los Baños, ha permitido la determinación de su composición inorgánica (incluidos los elementos radioactivos) con cuatro objetivos fundamentales: (1) datación (2) establecimiento de los cambios ocurridos durante un fenómeno meteorológico (3) evaluar la calidad para su uso terapéutico y (4) calcular las dosis para establecer la seguridad radiológica. Se utilizaron las técnicas nucleares de Fluorescencia de Rayos X (FRX), la Espectrometría Gamma de Bajo Fondo (EGBF), el Análisis por Activación Neutrónica (AAN) y la Emisión de Rayos X Inducida por Partículas (PIXE, por sus siglas en inglés).

Palabras clave: sedimentos; usos terapéuticos; composición química; análisis por fluorescencia de rayos X; análisis por activación neutrónica; Cuba.

Integration of the nuclear analytical techniques for the characterization of Cuban peloids. Case of study: San Diego de los Baños

Abstract

Peloids are natural products (sediments) used in the medical treatment of different pathologies and due to its use in humans, the chemical characterization has become of great importance to establish the presence of elements or compounds with biological action to support its therapeutic use and to control their quality for therapeutic purposes. In this work, are shown the main results of the integrated application of the nuclear analytical techniques in the characterization of Cuban peloids exemplified through the case of study of San Diego de los Baños peloid. The use of nuclear analytical techniques for the characterization San Diego de los Baños peloid has allowed the determination of the inorganic composition (included the radioactive elements) with four fundamental purposes: (1) sediment dating, (2) establishment of the changes in chemical composition occurring during a meteorological natural process (3) evaluation of the quality of the peloid for its therapeutic use and (4) dose calculation to establish the radiological security. The analytical techniques employed were X-ray fluorescence (XRF),

Low Background Gamma-Ray Spectroscopy (LBGS), Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) and Particle-Induced X-ray Emission (PIXE).

Key words: *sediments; therapeutic uses; chemical composition; x-ray fluorescence analysis; neutron activation analysis; Cuba.*

Introducción

Los peloides son productos naturales (sedimentos) que se forman a partir de aguas minerales, y que han sido utilizados desde la antigüedad para el tratamiento médico de diferentes patologías [1]. Debido a su empleo terapéutico en humanos, la caracterización química de los peloides cobra gran importancia ya que permite establecer la composición química con dos fines fundamentales: esclarecer la presencia de elementos o compuestos con posible acción biológica que fundamenten su uso terapéutico logrando un uso más eficiente de los mismos; y controlar su calidad, con vistas a su empleo con fines terapéuticos.

En el presente trabajo se agrupan los principales resultados obtenidos por el Grupo de Técnicas Nucleares y Conexas del InSTEC-UH, en colaboración con otras instituciones, en la integración de las técnicas analíticas nucleares para la caracterización de peloides (fangos medicinales) nacionales. Los resultados son ejemplificados a través del caso de estudio de uno de los peloides con mayor tradición de uso en el país, el proveniente del Balneario de San Diego de los Baños, en Pinar del Río. Este Peloide de San Diego (PSD) es el único de su tipo en Cuba, ya que se forma por la maduración artificial del sedimento de la desembocadura del Río San Diego (Boca de San Diego), empleando las aguas minerales del Balneario que son del tipo mesotermales (33°C), de patrón hidrogeoquímico del tipo sulfatadas cálcicas, radónicas, con presencia de F y H₂S [2], lo que define la composición inorgánica y radioisotópica del peloide obtenido. El yacimiento del sedimento se encuentra en la desembocadura del Río San Diego, en la costa sur de la provincia de Pinar del Río (22°19'34,00"N - 83°16'04,43"W), mientras que el peloide final se forma a 40 km, tierra adentro, en las piscinas de maduración del Balneario (figura 1).

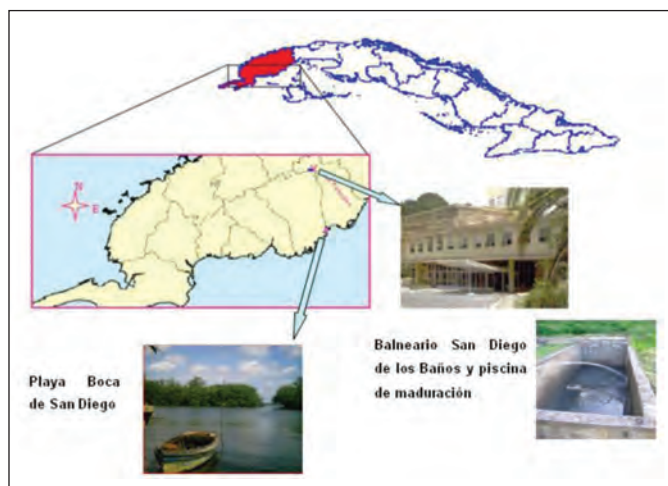


Figura 1. Mapa de ubicación. Ubicación panorámica del sedimento y del peloide de San Diego de los Baños.

Dentro de las técnicas analíticas nucleares, se consideran aquellas que están relacionadas con las excitaciones nucleares y de los electrones de las capas internas de los átomos, las reacciones nucleares y/o el decaimiento radiactivo [3]. La técnica de Espectrometría Gamma de Bajo Fondo (EGBF) está relacionada con el decaimiento radiactivo y se ocupa del estudio cuantitativo del espectro energético de las radiaciones que se emiten, permitiendo la determinación de la concentración radioactiva de los elementos inorgánicos emisores gamma. Por su parte las técnicas nucleares de análisis, como el Análisis por Activación Neutrónica (AAN), la Emisión de Rayos X Inducidos por Partículas (PIXE, por sus siglas en inglés) y la Fluorescencia de Rayos X (FRX), se relacionan más íntimamente con la excitación nuclear y las reacciones nucleares, por lo que permiten el análisis cuantitativo elemental [4].

El empleo de técnicas nucleares en la caracterización de muestras ambientales, específicamente de sedimentos, ha estado vinculado a la caracterización y el esclarecimiento de los procesos que ocurren en los medios sedimentarios, constituyendo, en los últimos años, una potente herramienta para determinar su pasado y origen, monitorear muestras en el presente y predecir la composición futura, a partir de los procesos estudiados [4, 5].

En el caso de los peloides, y particularmente en la caracterización del peloide PSD, el empleo integrado de las técnicas analíticas nucleares ha permitido la determinación de la composición inorgánica (incluidos los elementos radioactivos) con cuatro objetivos fundamentales: (1) la datación (2) el establecimiento de los cambios ocurridos durante un fenómeno meteorológico (3) evaluar la calidad del peloide para su uso terapéutico y (4) calcular las dosis para establecer la seguridad radiológica.

Datación

Para la datación se utilizaron los resultados obtenidos en las mediciones de EGBF de la concentración radioactiva de ¹³⁷Cs y ²¹⁰Pb de perfiles en profundidad (figura 2), para determinar la edad en los niveles del sedimento de la Boca de San Diego [6] debido a que el mismo constituye la materia prima para la formación del peloide PSD. El ¹³⁷Cs, radionucleido antropogénico producido por las explosiones y pruebas nucleares en el pasado siglo, se utiliza como marcador para verificar la edad del ²¹⁰Pb. Este último es de origen natural y se deposita desde la atmósfera, permitiendo determinar la velocidad de sedimentación y, por tanto, la edad en los perfiles estudiados. A partir de estas mediciones, integradas con los resultados obtenidos posteriormente por FRX de los valores de concentración total de los meta-

les a las diferentes profundidades, se establecieron los valores de fondo geoquímico de la zona de San Diego de los Baños que permiten subsiguientemente evaluar la calidad del peloide PSD [6].

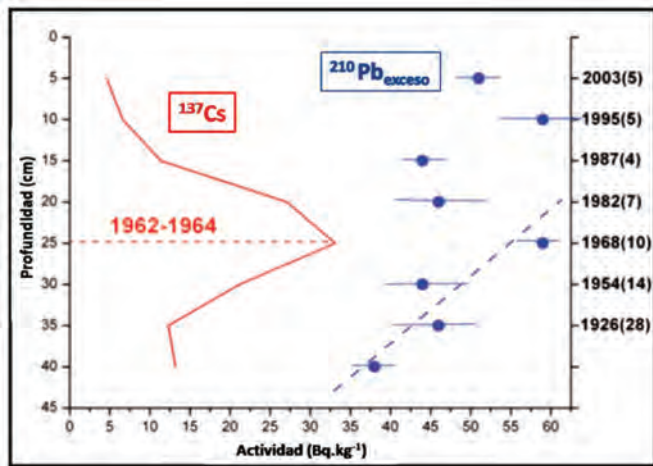


Figura 2. Actividad promedio de ^{137}Cs y ^{210}Pb en Bq.kg^{-1} en el perfil en profundidad del sedimento. El eje de la derecha muestra el año de formación del sedimento (error en años) (Tomada de [6]).

Estudio del impacto inducido por un fenómeno meteorológico mediante técnicas nucleares

En septiembre del 2008, la desembocadura del Rio San Diego, principal fuente del sedimento base que se utiliza para la formación del peloide de PSD, fue impactado por dos huracanes de categoría 4 en la escala de Saffir-Simpson (Gustav e Ike). Con el objetivo de evaluar el impacto de estos dos eventos meteorológicos extremos sobre la composición del sedimento, se utilizó la técnica de FRX para determinar la concentración de los elementos mayoritarios, minoritarios y trazas (Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn y Fe), así como la técnica de EGBF para establecer los cambios ocurridos en la composición de los elementos radioactivos (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{210}Pb y ^{40}K). Un resumen de los resultados obtenidos muestra, en la figura 3, que los principales cambios, luego del paso de los huracanes, están relacionados con los elementos mayoritarios Ca, K, y Fe, los cuales presentan diferencias significativas en sus concentraciones antes y después de ambos meteoros. El contenido de Ca se incrementa, como resultado de una mayor influencia del agua de mar [7], mientras que el K, asociado a las partículas del suelo removidas, disminuye, efecto este confirmado también a partir de los resultados obtenidos por la EGBF, por la disminución de radionucleido ^{40}K (figura 3). De manera similar ocurre con la remoción del Fe, cuyo origen es esencialmente terrestre. No se observaron cambios significativos ni movilización de los metales pesados (elementos trazas) o radionucleidos, de gran importancia para la evaluación de la calidad de los peloides debido a su posible toxicidad [7].

Evaluación de la calidad

Aunque Cuba es el único país del mundo que posee una norma de peloides [8], el alcance de la misma es limitado ya que no regula los valores permisibles de los elementos inorgánicos (incluidos los radionuclei-

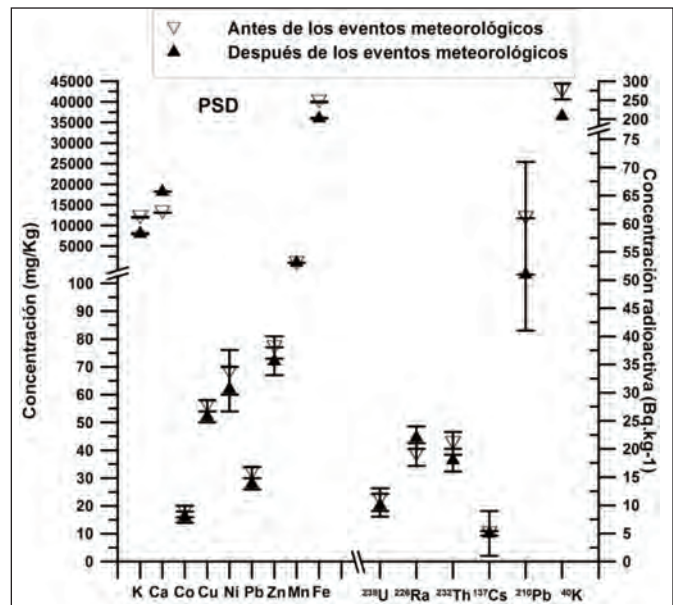


Figura 3. Comparación de las concentraciones de elementos minoritarios y trazas medidas por FRX (a la izquierda del eje X) y de las actividades de los radionucleidos medidos por Espectrometría Gamma (a la derecha del eje X) antes y después de los eventos meteorológicos Gustav e Ike.

dos), que pueden estar presentes en los peloides como indicadores de contaminación o de posibles acciones tóxicas sobre el ser humano. Debido a esto, en el país no se cuenta con niveles guías ni índices para evaluar la calidad referida al contenido de metales pesados en peloides, y hasta el momento, tampoco se ha encontrado una referencia internacional que establezca estos niveles [2, 9]. Por tanto, para evaluar la calidad de un peloide con fines terapéuticos, la primera aproximación sería hacer uso de los parámetros que se utilizan para establecer la calidad de un sedimento [2].

La evaluación de la calidad de un sedimento en relación con elementos inorgánicos específicos, se puede abordar en base a la comparación de los contenidos totales de estos elementos contra los niveles de las guías internacionales como la USEPA [10] o contra los llamados índices de riesgo ecológico como el nivel umbral de efecto (TEL) y el nivel de efecto probable (PEL) establecidos por la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA, por sus siglas en inglés) en el 2008 [11, 12]. Sin embargo, contar con valores del fondo natural de la zona de estudio, también llamado fondo geoquímico, es de gran utilidad ya que permite el cálculo de índices geoquímicos que ofrecen un acercamiento más realista del enriquecimiento de los elementos estudiados, y por tanto permite establecer con mayor seguridad la clasificación del sedimento en función de la contaminación. Los índices geoquímicos de enriquecimiento respecto al fondo natural comúnmente utilizados son el Factor de Enriquecimiento (FE), el Índice de Geoacumulación (Igeo), el factor de contaminación (Cf, por sus siglas en inglés) y el grado de contaminación (Cd, por sus siglas en inglés) [2, 13].

Por su parte, los radionucleidos en sedimentos están regulados por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el estudio de los Efectos de las Radiaciones (UNSCEAR), que establece los valores medios y el

intervalo de concentraciones radioactivas presentes en los sedimentos de las zonas consideradas con fondo radioactivo normal. Sin embargo, teniendo en cuenta que el potencial riesgo radiológico para los usuarios que utilizan el peloide en las prácticas médicas, ocurre a partir no sólo de la absorción de los elementos sino de la radiación que emiten, es necesario establecer y regular además la dosis para cada tipo de actividad [14].

Riesgo por la presencia de metales pesados

Debido a la importancia del sedimento de la Boca de San Diego como precursor de PSD, uno de los primeros trabajos reportados en Cuba de las aplicaciones de las técnicas nucleares estuvo relacionado con el empleo de la FRX y EGBF en la determinación de la variación temporal de la concentración total de metales pesados (Co, Ni, Cu, Zn y Pb) en un perfil vertical de este sedimento [6], con el fin de determinar el patrón y la historia del enriquecimiento en los metales pesados, y evaluar la calidad del mismo en el tiempo. Los resultados de este trabajo mostraron bajos niveles de concentración de los metales analizados y un bajo impacto antropogénico en este sedimento en los últimos 100 años, lo que permite evaluar su calidad, y se establece que el mismo no presenta riesgo por la presencia de metales pesados y puede ser usado como materia prima para la obtención de PSD, el cual tiene un uso terapéutico [6].

Una vez evaluada la calidad del sedimento de la boca de San Diego, el uso de las técnicas analíticas nucleares integradas permitió en posteriores trabajos evaluar la calidad del peloide final que se emplea, con fines terapéuticos, en el Balneario San Diego de los Baños (PSD), a partir de la determinación de su composición inorgánica total [12, 13]. En la figura 4 se muestra un resumen de los resultados obtenidos con la aplicación de diferentes técnicas nucleares (PIXE, AAN y FRX), en la determinación de metales pesados en diferentes muestras de PSD, tomadas entre 2008 y 2018. Se representa la media de todas las mediciones realizadas para cada elemento, y en las cajas, el intervalo de valores obtenidos y cuya dispersión se debe a las diferencias entre las muestras, así como las peculiaridades intrínsecas que presentan las técnicas, respecto a los parámetros analíticos [15, 16].

Los resultados de la figura 4 muestran la comparación de los valores de concentración total obtenidos, respecto a los niveles establecidos por la USEPA [10] y con los índices TEL y PEL [11, 12] en la evaluación de la calidad de PSD. Como se puede apreciar, el mismo clasifica como no contaminado con respecto a los elementos Pb y Zn, moderadamente contaminado por Cu y Ni, y contaminado respecto al Fe.

Apoyándonos en los valores obtenidos en la datación del sedimento de la Boca de San Diego, se seleccionaron como valores de fondo geoquímico de cada metal, los correspondientes a la etapa más antigua (1926) a profundidades entre 30–35 cm [6]. A partir de estos valores de fondo de los elementos Cu, Ni, Pb, Ni, Zn y Fe, y de los valores de concentración total, obtenidos utilizando las técnicas de PIXE, AAN y FRX en PSD,

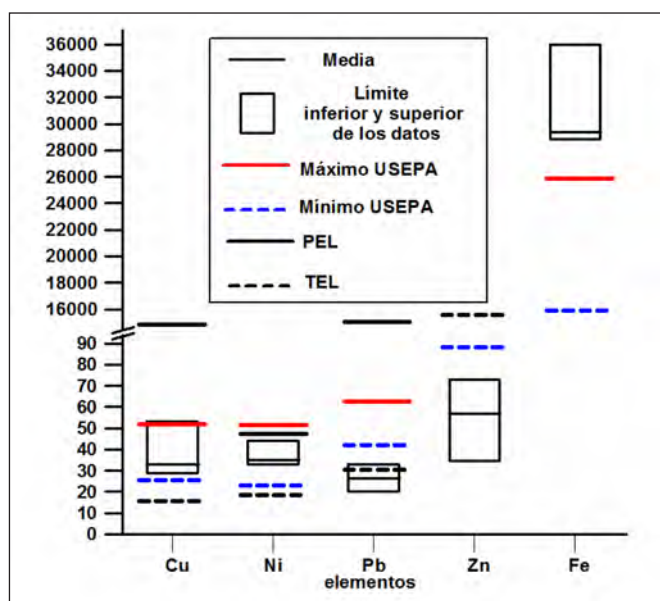


Figura 4. Intervalo y concentración promedio de los metales pesados determinados por tres técnicas nucleares y su comparación con la data reportada por la USEPA y la NOAA [9, 10]: Valores obtenidos de [6, 12, 13 y 17].

se calcularon los diferentes índices geoquímicos [2, 13]: FE, Igeo, Cf, y Cd (tabla 1).

Aunque los valores de los contenidos de Fe total, determinados por las técnicas nucleares utilizadas en PSD, superan los límites establecidos por la USEPA (fig. 4), los valores de los índices Cf, Cd e Igeo (tabla 1), indican que no existe enriquecimiento de este elemento ni contaminación en el peloide. En el caso del Fe, es particularmente importante, el contar con el valor del fondo geoquímico, teniendo en cuenta que la zona donde se origina el sedimento que se utiliza de base para la obtención de PSD se caracteriza por suelos de tipo ferralíticos [18] que aportan elevadas concentraciones de Fe al mismo, y por tanto el uso de los índices geoquímicos aporta mayor seguridad en la evaluación de su calidad.

Los valores de concentración total de Pb son inferiores al límite establecido por la USEPA, y a los índices TEL y PEL establecidos por la NOAA para considerar a un sedimento como contaminado (figura 4), sin embargo, el uso de los índices geoquímicos Cf y FE permiten identificar un enriquecimiento moderado de Pb respecto al fondo geoquímico (tabla 1). Según Díaz y et. al. [6], este enriquecimiento por Pb, se debe a la presencia de un asentamiento poblacional en el lado oeste del río San Diego, que podría generar residuos de combustible utilizado en las plantas eléctricas y cocinas, o al tráfico de botes de motor en el área.

En cuanto a los elementos Cu y Ni, que sobrepasan los límites inferiores establecidos por la USEPA, y al índice TEL establecido por la NOAA, el cálculo de los índices geoquímicos indica que no existe contaminación ni enriquecimiento por estos metales. En el caso del Zn, se comprueba que no existe contaminación a partir del cálculo de los índices geoquímicos coincidiendo con los resultados de la comparación de los valores de concentración total con los límites establecidos por la USEPA y la NOAA (tabla 1 y figura 4).

Tabla 1. Índices geoquímicos calculados a partir de la integración de las técnicas analíticas nucleares: Valores obtenidos de [6, 12, 13 y 17].

Elemento	Factor de contaminación (Cf)			I _{geo}	FE
	PIXE	AAN	FRX		
Cu	1,2	0,7	0,8	-	1
Ni	0,7	0,6	0,6	-1	1
Pb	1,2	nd	1,9	-	2
Zn	0,5	0,8	1,0	0,3	1
Fe	0,7	0,7	0,9	0,9	-
Grado de contaminación (Cd)	4,3	2,8	5,0		

Notas:
 $C_f \leq 1$ bajo factor de contaminación; $1 < C_f \leq 3$ moderado factor de contaminación; $3 < C_f \leq 6$ considerable factor de contaminación; $C_f > 6$ alto factor de contaminación.
 $C_d < 5$ bajo grado de contaminación; $5 < C_d < 10$ moderado grado de contaminación; $10 < C_d \leq 20$ considerable grado de contaminación; $C_d > 20$ muy alto grado de contaminación.
 $I_{geo} < 0$ no contaminado; $0 < I_{geo} < 1$ no contaminado a moderadamente contaminado; $1 < I_{geo} < 2$ moderadamente contaminado; $2 < I_{geo} < 3$ de moderado a fuertemente contaminado; $3 < I_{geo} < 4$ fuertemente contaminado; $4 < I_{geo} < 5$ de fuertemente a extremadamente contaminado; $I_{geo} > 5$ extremadamente contaminado.
 $EF \leq 1$ no existe enriquecimiento; $EF < 3$ pequeño enriquecimiento; $EF = 3-5$ enriquecimiento moderado; $EF = 5-10$ enriquecimiento moderadamente severo; $EF = 10-25$ enriquecimiento severo; $EF = 25-50$ enriquecimiento muy severo; $EF > 50$ enriquecimiento extremadamente severo.
 nd - No determinado

Los valores calculados para C_d , índice que tiene en cuenta el efecto combinado de todos los elementos químicos estudiados, indican que PSD presenta un bajo grado de contaminación ($C_d \leq 5$), analizando los valores obtenidos para cada técnica analítica (tabla1).

En resumen, los resultados obtenidos de la aplicación integrada de cuatro técnicas nucleares (PIXE, AAN, FRX, EGBF), permitieron clasificar al peloide PSD como no contaminado respecto a los metales pesados estudiados y, por tanto con la calidad requerida para su uso terapéutico. Los resultados de la evaluación de la calidad de PSD mediante técnicas nucleares, coincidieron con los resultados obtenidos por Suárez y et. al., 2015, empleando técnicas convencionales, para la determinación de metales pesados en PSD [2].

Riesgo por la presencia de radionucleidos

Un resumen de los resultados obtenidos en los estudios por espectrometría gamma, se muestra en la figura 3. De modo general, la concentración radioactiva promedio de los radioisótopos fundamentales que contribuyen a la radioactividad en PSD, se encuentran en el mismo orden de concentración de los valores de otros peloides reportados a nivel mundial [19, 20] y de las concentraciones radioactivas promedios mundiales que aparecen en el UNSCEAR [21] y que regula los niveles de radionucleidos en sedimentos (figura 5). En el peloide PSD se determinaron, mediante EGBF, radionucleidos de origen natural, correspondientes a las familias del ^{238}U y ^{232}Th (^{232}Th , ^{226}Ra), además del radionucleido primordial ^{40}K y del radionucleido artificial ^{137}Cs .

Los resultados obtenidos en las muestras de PSD permitieron el cálculo de la tasa de dosis promedio (40 nGy.h^{-1}), los valores de actividad equivalente de Ra (82 Bq.kg^{-1}), y el índice de riesgo externo (0,23), los que resultaron inferiores a los valores internacionales recomendados (51 nGy.h^{-1} , 370 Bq.kg^{-1} y 1, respectiva-

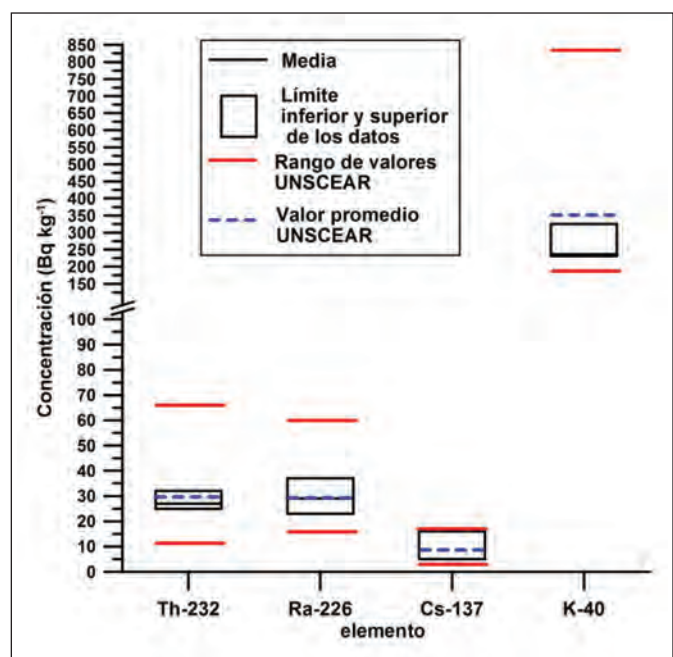


Figura 5. Intervalo y concentración radioactiva promedio de (en Bq.kg^{-1}) de los radionucleidos determinados por espectrometría gamma en diferentes fechas y su comparación con la data reportada por el UNSCEAR [21]. Valores obtenidos de [17, 19, 20].

mente [19]. También se calculó la tasa de dosis anual efectiva con un valor promedio de $48,5 \mu\text{Sv.y}^{-1}$, inferior al valor promedio mundial de dosis efectiva equivalente por radiación gamma terrestre en interiores ($70 \mu\text{Sv.y}^{-1}$) y a la dosis anual efectiva que recibe la población cubana por la radiación terrestre ($180 \mu\text{Sv.y}^{-1}$) [19]. Para establecer el potencial riesgo radiológico para los usuarios que utilizan el peloide, se calcularon la dosis absorbida en el aire y la dosis equivalente anual para la piel. La dosis absorbida calculada, no excede los valores límites de dosis específicas para cada tipo de actividad (60 nGy.h^{-1} [20]), mientras que el valor de dosis anual

equivalente para la piel, es dos órdenes de magnitud inferior a la dosis límite equivalente para el público, debido a prácticas con el empleo de fuentes de radiación y, por tanto, no son significativas desde el punto de vista de la protección radiológica [20].

Conclusiones

La integración de las técnicas nucleares EBF y FRX permitió la datación en el sedimento de la Boca de San Diego de los Baños, que es la base para la formación de PSD. Con los resultados de la datación fue posible establecer el fondo geoquímico de la zona de estudio y calcular los índices para la evaluación de la calidad de PSD.

El uso integrado de las técnicas nucleares fue utilizado para establecer los cambios en la composición inorgánica del sedimento de la Boca de San Diego producto del impacto de fenómenos meteorológicos severos, evidenciándose cambios significativos en la composición mayoritaria, sin que se afectara la composición de los elementos trazas y de los radionucleidos, elementos estos de gran importancia en cuanto a la evaluación de la calidad debido a su posible toxicidad.

Con la integración de los resultados anteriores se puede establecer que el peloide de San Diego de los Baños, así como del sedimento que le da origen, pueden ser clasificados como no contaminados y sin riesgo con respecto a los metales pesados y a los radionucleidos estudiados, y por tanto aptos para su uso terapéutico.

Referencias bibliográficas

- [1]. VENIALE F, BETTERO A, JOBSTRAIBIZER PG, SETTI M. Thermal muds: Perspectives of innovations. *Applied Clay Science* (2007) 36:141-147.
- [2]. SUÁREZ MUÑOZ M, MELIÁN RODRÍGUEZ C, GELEN RUDNIKAS A, DÍAZ RIZO O, MARTÍNEZ-SANTOS M, et. al. Physicochemical characterization, elemental speciation and hydrogeochemical modeling of river and peloid sediments used for therapeutic uses. *Applied Clay Science* (2015) 104:36-47.
- [3]. SIEGBAHN K (editor). Alpha, beta and gamma-ray spectroscopy. Volume 1. American Elsevier Publishing Company INC. 1968. Última Impresión 1979.
- [4]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Analytical applications of nuclear techniques. Book. Vienna: IAEA, 2004. ISBN 92-0-114703-1.
- [5]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Nuclear Technology for a sustainable future. Vienna: IAEA, 2012.
- [6]. DÍAZ RIZO O, GELEN RUDNIKAS A, D'ALESSANDRO RODRÍGUEZ K, LÓPEZ PINO N, ARADO LÓPEZ JO, et. al. Assessment of historical heavy metal content in healing muds from San Diego river (Cuba) using nuclear analytical techniques. *Nucleus* (2013) 53:19-23.
- [7]. DÍAZ RIZO O, GELEN RUDNIKAS A, GONZÁLEZ HERNÁNDEZ P, MELIÁN RODRÍGUEZ CM, SUÁREZ MUÑOZ M, et. al. Evaluation of the hurricanes Gustav and Ike impact on mud from San Diego River using nuclear and geochemical techniques. *Nucleus*. 2011; (50): 7-11.
- [8]. KOMAR D, DOLENEC T, DOLENEC M, VRHOVNI P, LOJEN S, et. al. Physico-chemical and geochemical characterizations of Makirina Bay peloid mud and its evaluation for potential use in balneotherapy (N Dalmatia, Republic of Croatia). *Indian Journal of Traditional Knowledge*. 2015; 1(1): 5-12.
- [9]. United States Environmental Protection Agency. Guidelines for Pollution Classification of Great Lakes Harbor Sediments. Region V, Great Lakes Surveillance Branch, Chicago IL, US: 8. 1977.
- [10]. BUCHMAN MF. NOAA Screening Quick Reference Tables. NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008. 34 pages
- [11]. DÍAZ RIZO O, SUÁREZ MUÑOZ M, GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ P, GELEN RUDNIKAS A, D'ALESSANDRO RODRÍGUEZ K, et. al. Assessment of heavy metal content in peloids from some Cuban spas using X-ray fluorescence. *Nucleus* 2017; (61): 1-5.
- [12]. DÍAZ RIZO O, BARRIOS COSSIO J, GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ P, SUÁREZ MUÑOZ M, D'ALESSANDRO RODRÍGUEZ K, et. al. Instrumental neutron activation analysis of peloids from main Cuban spas. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2018; 317: 1079-1087.
- [13]. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación. normas básicas internacionales de seguridad. Límites de dosis para situaciones de exposición planificada (personal ocupacionalmente expuesto y público. 2011.
- [14]. CALZOLAI G, CHIARI M, LUCARELLI L, MAZZEI F, NAVA S, et. al. PIXE and XRF analysis of particulate matter samples. An inter-laboratory comparison. *Nucl. Inst. Met. Phys. Res. B.* 2008; 266: 2401-2404.
- [15]. BODE P. Nuclear analytical techniques for environmental research. Chapter 1. *EncyclAtmosSci* (Internet) 2001; 4:1-16. Disponible en http://cdiac.esd.ornl.gov/oceans/GLODAP/glodap_pdfs/Thermohaline.web.pdf.
- [16]. DOMÍNGUEZ RODRÍGUEZ R, SUÁREZ MUÑOZ M, GONZÁLEZ HERNÁNDEZ P, MELIÁN RODRÍGUEZ C, ISAAC OLIVÉ K, et. al. Inorganic and natural occurring radioactive material characterization of a Cuban peloid by nuclear techniques. *Memorias del 2nd International Nuclear Chemistry Congress (2nd INCC)*. México. 2008.
- [17]. HERNÁNDEZ CA, MORENO I. Characteristics and classification of soils rice cultivation in La Palma, Pinar del Rio. *Cultivos Tropicales*. 2010; 31(2):14-21.
- [18]. DÍAZ RIZO O, GELEN RUDNIKAS A, ARADO LÓPEZ JO, D'ALESSANDRO RODRÍGUEZ K, GONZÁLEZ HERNÁNDEZ P, et. al. Radioactivity levels and radiation hazard of healing mud from San Diego River, Cuba. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2013; 295: 1293-1297.
- [19]. DÍAZ RIZO O, SUÁREZ MUÑOZ M, GONZÁLEZ HERNÁNDEZ P, GELEN RUDNIKAS A, D'ALESSANDRO RODRÍGUEZ K, et. al. Radioactivity levels in peloids used in main Cuban spas. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2018; 316: 95-99.
- [20]. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes I. United Nations. 2010.
- [21]. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana-6. Peloides. La Habana, 1988.

Recibido: 29 de mayo de 2021

Aceptado: 21 de julio de 2021

Assessment of heavy metal pollution in urban soils and dusts from Regla town (Havana, Cuba) using X-ray fluorescence analysis

Oscar Díaz Rizo, Víctor J. Caraballo Arroyo, César E. García Trápaga

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de la Universidad de La Habana (InSTEC-UH), Ave. Salvador Allende y Luaces, La Habana, Cuba
odrizo@instec.cu

Abstract

Ni, Cu, Zn and Pb contents in urban dust and surface soils from Regla town (Havana, Cuba) are determined by X-ray fluorescence analysis. The obtained results are compared with the metal contents reported for Havana and industrial areas from other Cuban and worldwide cities. The application of pollution, ecological risk and toxicological indexes allows to evaluate the impact induced by the local industries emissions to the population health. The calculated hazard index and cancer risk of all studied heavy metals suggested the acceptable range for both noncarcinogenic and carcinogenic risk to children and adults.

Key words: X-ray fluorescence analysis; heavy metals; urban areas; dust; soils; Cuba.

Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos y polvos urbanos del pueblo de Regla (La Habana, Cuba) mediante fluorescencia de rayos X

Resumen

Se determinan las concentraciones de Ni, Cu, Zn y Pb mediante Fluorescencia de Rayos X en muestras de suelos y polvos urbanos de la localidad de Regla (La Habana, Cuba). Los resultados obtenidos se comparan con los contenidos de metales reportados para La Habana y áreas industriales de otras ciudades cubanas y del mundo. El empleo de indicadores de contaminación, de riesgo ecológico y toxicológico, permitió evaluar el impacto que inducen las industrias locales sobre la salud de la población. Los valores calculados de los índices de peligrosidad y de riesgo carcinogénico para los metales estudiados indican un rango aceptable de riesgo no-carcinogénico y carcinogénico para niños y adultos.

Palabras clave: análisis por fluorescencia de rayos X; metales pesados; áreas urbanas; polvo; suelos; Cuba.

Introduction

The increment of the industrialization and urbanization has deep attempted against urban environment [1]. Urban soil and street dust are strongly influenced by anthropogenic activities [2, 3], and receives a major proportion of potential toxic metals emissions from different sources, such as atmospheric deposition, vehicular traffic, industrial emissions, construction, building deterioration, mining activities, etc. [4]. These pollutants could remain in soil and dust for a long time and accumulate in human fatty tissue and internal organs via direct inhalation, ingestion and dermal contact absorption [5, 6], representing a risk to human health because of their toxicity and non-degradability, especially in children [7-9].

The actual Regla town is a Villa founded in 1687. It is located in the back side of the Havana port and it has been always considered an industrial villa. Since the end of the XVIII century, local industries were related to naval construction, sugar and packaging industries, distilleries, refineries, etc. Nowadays, Regla is one of the municipalities of the Havana City (population 42939 inhabitants with the 20.7%, corresponding to children below 14 years of age [10]). Furthermore, and in its surroundings are located well-know polluting industries as an oil refinery, an electric power station (closed few years ago), a concrete plants and a metal smelter. Moreover, due to its proximity to the Havana port, another source of heavy metals in Regla urban environment is the exhaust emissions of heavy traffic.

It should be also noted that medical studies aimed at evaluating the impact of internal and external pollution sources on the population's health have concluded that Regla is the Havana municipality with the highest epidemiologic risk due its environmental pollution. Furthermore, they also found that some diseases as tumor, congenital malformations, chronic renal insufficiency, high arterial tension [11] as well as respiratory infections and acute diarrheal morbidity in children below 15 years of age [12].

In this sense, the objectives of this study were; (1) to investigate the concentration of nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn) and lead (Pb) in the urban dust and surface soils throughout Regla town in order to evaluate its environment quality in terms of metal contamination and (2), assess the potential risk such pollution represents for the local population developing carcinogenic and non-carcinogenic diseases.

Materials and methods

Regla is located in the coordinates 23°07'30"N - 82°19'55"O. The municipality is limited north by the Havana bay and the oil refinery Níco López, south by the municipality of San Miguel del Padrón, east by the refinery and the municipality of Guanabacoa and west by the Havana bay. The major part of its territory is bordered by high heavy traffic speedways as Via Blanca and Avenida del Puerto.

In the present study, 23 urban dust and 11 surface (0-10cm) soil samples were collected in 26 locations in Regla town (fig.1). Locations correspond to schools (4), child parks (3), kinder-gartens (2), parks (7) and industrial (6) and residential (4) areas. Dust samples (around 100g) were collected by gently sweeping an area of about 16 m² in the street crossroad using a plastic hand broom, while soil samples were collect by spatula. All samples were transferred to a clean, self-sealed polyethylene

bag. In the laboratory, samples were at first dried at 35 °C and large rock, metallic and plastic pieces and organic debris were removed before sieving. The fractions smaller than 2 mm were ground to a fine powder (<63 µm) in an agate mortar. The pulverized samples were newly dried at 35 °C until obtaining a constant weight.

The Ni, Cu, Zn and Pb concentrations were estimated by X-Ray Fluorescence Analysis (XRF) using the Certified Reference Materials (CRM) IAEA-SL-1 "Lake Sediment", IAEA-Soil-5, IAEA-356 "Polluted Marine Sediment", BCR-2 "Basalt Columbia River", SGR-1 "Green River Shale" and BCSS-1 "Marine sediment" from the Canadian National Research Council as standards. All samples and CRM were mixed with cellulose (analytical quality) in proportion 4:1 and pressed at 15 tons into the pellets of 25 mm diameter and 4-5 mm height. All pellets were measured using Canberra Si(Li) detector (150 eV energy resolution at 5.9 keV, Be windows thickness = 12.0 µm) coupled to MCA. A ²³⁸Pu (1.1 GBq) excitation source with ring geometry was used. All spectra were processed with WinAxil code [13]. Detection limits (LD see table 1) were determined according to Padilla et al. [14] (in concentration units) as: LD=3σ/mt, where m is the sensibility in counts.seg-1 per concentration unit, σ is the standard deviation of the area of the background windows (peal windows at 1.14 times the FWHW) and t is the measuring time (6h).

The accuracy was evaluated using the SR criterion, proposed by McFarrell [15]:

$$SR = \frac{|C_x - C_w| + 2\sigma}{C_w} \cdot 100\%$$

where C_x is the experimental value, C_w the certified value and σ the standard deviation at C_x. On the basis of his criterion the similarity between the certified value and analytical data obtained by proposed methods is divided into three categories: SR ≤ 25% = excellent; 25 < SR ≤ 50% = acceptable, SR > 50% = unacceptable.



Figure 1.- Location of Regla town in Havana and the studied stations

The analysis of five replica of the CRMs IAEA-Soil-7 (for soil samples) and IES-951 (for dust samples) is presented in table 1. In both cases, all heavy metals of interest determined by XRF are "excellent" (SR ≤ 25%) and the obtained results shows a very good correlation between certified and measured values. The spatial distribution maps of all studied heavy metals in urban street dust and surface soils from Regla town were generated with ArcGIS software.

The environmental quality of the studied surface soils and urban dusts, was estimated by Integrated Pollution Index (IPI) [16], for each studied location, It is defined as the average value of all Pollution Index (PI) values for each metal of interest:

$$IPI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n IP_i; \quad IP_i = \frac{C_i}{B_i}$$

where, C_i are the concentrations measured for each metal on interest, and B_i their corresponding background contents. IPI is evaluated by 3 categories (see table 2). In the present study, the average metal content in soils from Havana un-urbanized areas [17] were taken as background values: 58 mg.kg⁻¹ for Ni, 86 mg.kg⁻¹ for Cu, 151 mg.kg⁻¹ for Zn and 28 mg.kg⁻¹ for Pb.

The ecological risk index (RI) was introduced by Hakanson [18] and is used to assess the degree of heavy metal pollution in soil, dust and sediments, integrating the factors of the potential ecological risk for each metal, and associating their environmental and ecological effects with their toxicity. It is calculated as:

$$RI = \sum Er^i; \quad Er^i = Tr^i \times C_f^i; \quad C_f^i = \frac{C_x^i}{C_n^i}$$

where, RI is the sum of the potential risk posed by individual heavy metals; Er^i - is the partial ecological risk (i.e., the potential risk from a given metal); Tr^i - is the toxic response factor for a given metal (in the present study Ni=Cu=Pb=5 and Zn=1) [18]; C_f^i - is the con-

tamination factor for each metal, C_x^i is the heavy metal content in the studied sample, C_n^i - is the background concentration for a given metal. The ecological risk categories are presented in table 2.

Health risk assessment models were used to quantify the health risk (carcinogenic and non-carcinogenic) for Regla population exposed to heavy metals in urban dust. Local population are exposed to metals in urban dust through three main exposure pathways: direct ingestion, inhalation through mouth and nose, and dermal absorption. The total non-carcinogenic risk was calculated for each metal in urban dust by the summation of the individual risks calculated for the three exposure pathways [19-21].

The average daily dose (ADD) (mg kg⁻¹ day⁻¹) for heavy metals in road dust through the three exposure pathways was calculated according to Exposure Factors Handbook [22] and the Technical Report of USEPA [23] using the following equations:

$$ADD_{ing} = C_{metal} \times \frac{IngR \times CF \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

$$ADD_{inh} = C_{metal} \times \frac{InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (2)$$

$$ADD_{dermal} = C_{metal} \times \frac{SA \times CF \times AF \times ABF \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (3)$$

$$LADD = C_{metal} \times \frac{CR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (4)$$

where, the ADD_{ing} , ADD_{inh} and ADD_{dermal} are the average daily dose (mg.kg⁻¹.day⁻¹) exposure to metals through ingestion, inhalation and dermal contact, respectively; LADD is the lifetime average daily dose exposure to metals (mg.kg⁻¹.day⁻¹) for cancer risk; CR is the contact frequency and is the same IngR used in the calculation of ADD_{ing} [23-25]; C_{metal} - is the concentration of metals in dust; IngR - Ingestion rate of dust (mg.d⁻¹):

Table 1. XRF analysis of CRMs Soil-7 and IES-951. SR values and Detection limits (LD)

Element	CRM Soil-7 (mg.kg ⁻¹)		SR (%)	CRM IES-951 (mg.kg ⁻¹)*		SR (%)	LD (mg.kg ⁻¹)
	C _{DET}	C _{REP}		C _{DET}	C _{REP}		
Ni	26 ± 3	26 ± 4	23	38 ± 5	38 ± 3	15	7
Cu	11.1 ± 1.1	11.0 ± 1.0	19	29.9 ± 0.9	30.5 ± 2.3	17	6
Zn	98 ± 7	104 ± 3	12	104 ± 6	96 ± 6	21	5
Pb	56 ± 5	60 ± 4	20	36 ± 4	37 ± 4	24	4

Table 2. Classification of the Integral Pollution Index (IPI) and categories for the Potential Ecological Risk (Eri) and ecological Risk Index (RI).

IPI [16]		Eri [18]		RI [18]	
Valor	Category	Valor	Category	Valor	Category
IPI ≤ 1	Low polluted	Eri < 40	Low	RI ≤ 150	Low
1 < IPI ≤ 2	Middle polluted	40 ≤ Eri < 80	Moderate	150 ≤ RI < 300	Moderate
2 < IPI	High polluted	80 ≤ Eri < 160	Considerable	300 ≤ RI < 600	Considerable
		160 ≤ Eri < 320	High	600 ≤ RI	Very high
		Eri ≥ 320	Very high		

100 for adults and 200 for children [21]; EF -exposure frequency (d.y⁻¹): 350 [26]; ED - Exposure duration (y): 6 for children and 25 for adults [21]; BW - Average body weight (kg): 15 for children and 70 for adults [21]; AT - Average time (d): 365 x ED [20]; CF - Conversion factor (kg.mg⁻¹): 1 x 10⁻⁶ [27]; InhR - Inhalation rate of dust (m³.d⁻¹): 7.63 for children and 12.8 for adults [21, 27]; PEF - Particular emission factor (m³.kg⁻¹): 1.36 x 10⁹ [24, 25]; SA - Surface area of skin exposed to dust (cm²): 1600 for children and 4350 for adults [26]; AF - Skin adherence factor (mg.cm⁻²): 0.2 for children and 0.7 for adults [28, 29] and ABF - Dermal Absorption factor (unit less): 0.001 [23, 24].

In order to evaluate the human health risk of heavy metal exposure from urban dusts in Regla, the *hazard quotient* (HQ), *hazards index* (HI), and the *carcinogenic risk* (CR) assessment were applied. The potential risk of carcinogenic and non-carcinogenic hazards for individual metals were calculated using the following equations [19, 30]:

$$HQ = \frac{ADD}{RfD}$$

$$HI = HQ_{inh} + HQ_{ing} + HQ_{der}$$

$$CR = LDDA \times SF$$

where RfD (mg kg⁻¹ day⁻¹) is the corresponding reference dose, which was defined as the intake or dose per unit of body weight. The hazard index (HI) is the sum of the hazard quotient (HQ) from each exposure pathway. HI < 1 means there is no significant risk of non-carcinogenic effect that could be ignored, whereas HI > 1 suggested that adverse effects might occur [31]. As an estimate of the upper-limit probability of an individual developing cancer because of exposure to a particular carcinogen, CR is used to denote cancer risk. SF (kg.d.mg⁻¹) is the corresponding carcinogenic slope factor of the life-

time average daily dose (LADD). When CR < 10⁻⁶, it is considered that the risk is negligible. When CR is in the range of 10⁻⁶ to 10⁻⁴, it suggested that there is a certain cancer risk. When CR > 10⁻⁴, it indicates that there is a significant cancer risk. The RfD and SF values of metals analyzed in the present study are presented in table 3.

Results and discussion

Total concentrations and descriptive statistics of urban dust and surface soil samples are summarized in table 4. The urban dust mean concentrations of the studied metals above to background value ratios decreased as the order of Pb (3,21 times) > Ni (1,72 times) > Zn (1,52 times), while Cu mean content did not exceed the background values (0,43 times). A similar behavior was obtained for surface soil mean concentrations: Pb (4,14 times) > Ni (3,26 times) > Zn (2,20 times) and Cu (0,92 times).

The standard deviation (SD) and coefficient of variance (CV) indicated that there was wide variation in some metals concentrations in dust and soil showed samples. According to the study by Phil-Eze [33], CV ≤ 20% indicated low variability, 21% < CV ≤ 50% was regarded as moderate variability, 51% < CV ≤ 100% indicated high variability, and CV > 100% was considered very high variability. In this study, concentrations of Ni and Pb maximum variability with CV of 131% and 104%, respectively, while for urban dust was Pb with CV of 116%. The very high CV values of Ni and Pb and high CV of Zn for studied soils, and very high CV of Pb and high CV of Ni and Cu for studied dusts, reflected their heterogeneity in the Regla town soil environment, which further indicates the existence of anthropogenic sources in the studied area [34, 35]. This is in correspondence with the Ni, Pb and Zn distributions in Regla soils (figure 2, left) and studied metals in urban dusts (figure 2,

Table 3. The reference doses and slope factor of metals in the present study [32].

	Cu	Ni	Pb	Zn
R _{fD} _{ing}	4.00E-02	2.00E-02	3.50E-03	3.00E-01
R _{fD} _{inh}	4.02E-02	2.06E-02	3.52E-03	3.00E-01
R _{fD} _{dermal}	1.20E-02	5.40E-03	5.25E-04	6.00E-02
SF	-	8.10E-01	-	-

Table 4. Statistical results of the Ni, Cu, Zn and Pb concentrations (mg.kg⁻¹) in urban dust and surface soils of Regla town and the corresponding IPI.

	Metal	Maximum	Minimum	Mean	Median	Skewness	Kurtosis	SD	CV(%)
Urban dust	Ni	364	30	100	59	2,02	3,30	96	96
	Cu	110	16	37	27	2,05	4,94	27	73
	Zn	371	82	230	222	<-0,01	0,34	68	30
	Pb	378	21	62	46	4,33	19,63	72	116
	IPI	4,0	0,5	1,7	1,0	2,0	3,7	0,8	47
Surface soil	Ni	798	44	189	92	2,15	4,05	248	131
	Cu	180	14	75	73	1,55	4,35	42	53
	Zn	1048	87	285	247	2,63	4,85	284	86
	Pb	431	28	116	73	2,31	5,71	121	104
	IPI	4,9	1,2	2,6	1,9	0,5	-1,7	1,4	54

right), where the respective metal content hot spots are clearly identified, allowing the identification of the potential pollution sources. On the other hand, the Cu distribution in soil is more homogenous through the studied stations.

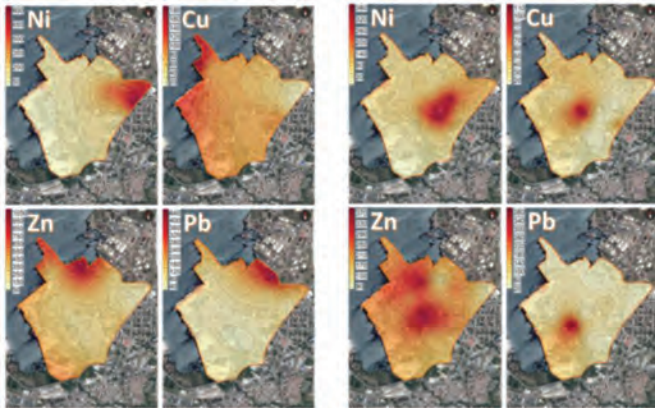


Figure 2. Spatial distribution of concentrations of Ni, Cu, Zn and Pb in surface soils (left) and urban dusts (right) from Regla town.

The skewness and kurtosis (K-S) test confirmed that the concentrations of the studied metals did not follow a normal distribution, which was normal in geochemical variables. The skewness values of practically all studied metals in surface soils and urban dust were positive. It manifested that their distribution patterns were right-skewed related to the normal distribution. The skewness of Pb was maximum in both, soil and dust. The exception was Zn in urban dust showed negative, indicating that its distribution pattern is left-skewed compared with the normal distribution. However, its absolute values of skewness is lower than 1, which confirmed that Zn--content in dust practically follows a normal distribution.

The spatial distribution of Integral Pollution Index for surface soil and urban dust (figure 3) was an extremely crucial tool, in order to assess the potential main pollution sources in the studied area. The behavior of the soil

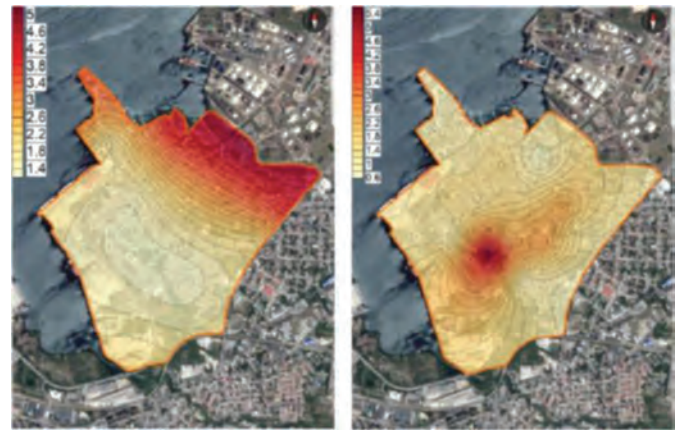


Figure 3. Spatial distribution of the Integral Pollution Index in surface soils (left) and urban dust (right) from Regla town.

IPI (figure 3, left) shows the high impact induced by the oil refinery, for very long time, to the urban soils of Regla town. The comparison with studied metal distribution in Regla soils (figure 2, left) allows to confirm that Pb, Zn and Ni exhausts from the refinery, are deposited in soils along the town-refinery common border, inducing a very high pollution in this area (an average local soil IPI of 7.5). On the other hand, the hot spot observed for the urban dust IPI spatial distribution correspond to station 7 (IPI_{dust} (st.7) = 4.0), where a new temporal fuel-oil electric power plant was installed, after then the mentioned power station was closed.

The potential ecological risk for each studied metal in soil and urban dust from Regla town are presented in figure 4 (up). It could be found that the severity of pollution of the studied trace metals decreased as follows: for soil as Pb > Cu > Ni > Zn, whereas for urban dust as Pb > Ni > Cu > Zn. However, for the major part of the studied stations, the potential ecological risk must be considered as Low. The only exceptions are Pb-soil-Eri in the stations 1 (considerable) and 17 (moderate),

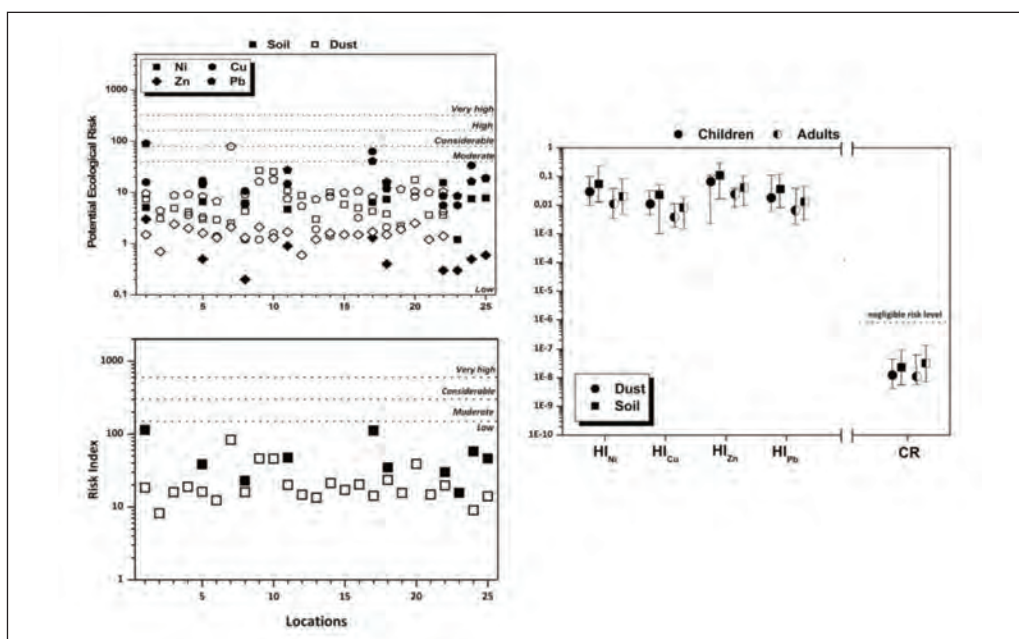


Figure 4. Potential ecological risk (left-up) and Risk index (left-down) and the averages and ranges of metal Hazard Indexes (HI) and Ni-Carcinogenic Risk (CR) (right) in surface soils and urban dust from Regla town.

soil-Cu-Eri in the station 17 (moderate) and dust-Pb-Eri in the station 7 (moderate). These results are in agreement with the IPI distribution for soil and dust, respectively. The Risk Index (figura 4, down) classified as Low for both, soil and dust, in all studied stations, independently of the relatively high metal contents determined in some of the studied stations. In correspondence, the determined Ni, Cu, Zn and Pb hazard indexes and Ni-carcinogenic risk (figure 4, right) are in normal levels.

Conclusions

In correspondence with the obtained results, the relative high Ni, Cu, Zn and Pb contents, measured in surface soils and urban dusts from Regla town are not the cause to develop by the local population a carcinogenic and non-carcinogenic diseases mentioned in Cuellar Luna and et. al. [11]. In this sense, the study of the content of other heavy metals as As, Cd, Hg, etc., is recommended.

References

- [1]. LI Y, YU Y, YANG Z, et. al. A comparison of metal distribution in surface dust and soil among super city, town, and rural area. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2016; 23: 7849-7860.
- [2]. KABATA-PENDIAS A, PENDIAS H. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2001.
- [3]. DAVIDSON CM, URQUHART GJ, AJMONE-MARSAN F, et. al. Fractionation of potentially toxic elements in urban soils from five European cities by means of a harmonized sequential extraction procedure. *Anal. Chim. Acta.* 2006; 565: 63-72.
- [4]. LI HH, CHEN LJ, YU L, et. al. Pollution characteristics and risk assessment of human exposure to oral bioaccessibility of heavy metals via urban street dust from different functional areas in Chengdu, China. *Sci. Total. Environ.* 2017; 586: 1076-1084. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.092>.
- [5]. KURT-KARAKUS PB. Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: estimation of the health risk. *Environ. Int.* 2012; 50(1): 47-55.
- [6]. LIU E, YAN T, BIRCH G, ZHU Y. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. *Sci. Total Environ.* 2014; 476-477: 522-531.
- [7]. HUANG M, WANGA W, CHAN CY, et. al. Contamination and risk assessment (based on bioaccessibility via ingestion and inhalation) of metal(loid)s in outdoor and indoor particles from urban centers of Guangzhou, China. *Sci. Total Environ.* 2014; 479-480:117-124.
- [8]. ORDÓÑEZ A, ALVAREZ R, DE MIGUEL EC, et. al. Spatial and temporal variations of trace element distribution in soils and street dust of an industrial town in NW Spain: 15 years of study. *Sci. Total Environ.* 2015; 524-525: 93-103.
- [9]. CHEN H, LU X, LI LY. Spatial distribution and risk assessment of metals in dust based on samples from nursery and primary schools of Xi'an, China. *Atmos Environ.* 2014; 88: 172-182.
- [10]. Oficina Nacional de Estadísticas. Anuario Estadístico de Regla 2016. edición 2017 [consulted: June 7]. Disponible en: <http://www.one.cu> (in Spanish).
- [11]. CUELLAR LUNA L, DEL PUERTO RODRÍGUEZ A, MALDONADO CASTILLO G, ROMERO PLACERES M. Fuentes fijas contaminantes en La Habana (Cuba). *Hig Sanid Ambient.* 2013; 13(2): 968-974 (in Spanish).
- [12]. MEZQUÍA VALERA A, PACHECO H, ORTIZ MARTÍNEZ M, et. al. Contaminación ambiental e infecciones respiratorias y enfermedades diarreicas agudas en menores. *Hig Sanid Ambient.* 2014; 14 (4): 1247-1252 (in Spanish).
- [13]. WinAxil code. Version 4.5.3 WinAxil. CANBERRA-MITAC [software]. 2005.
- [14]. PADILLA R, MARKOWICZ A, WEGRZYNEK D, et. al. Quality management and method validation in EDXRF analysis. *X-Ray Spectrometry*, 2007; 36: 27-34.
- [15]. QUEVAUVILLER PH, MARRIER E. Quality assurance and quality control for environmental monitoring. Weinheim: VCH, 1995.
- [16]. CHEN TB, ZHENG YM, LEI M, et. al. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere.* 2005; 60: 542-551.
- [17]. DÍAZ RIZO O, ECHEVARRÍA CASTILLO F, ARADO LÓPEZ JO, HERNÁNDEZ MERLO M. Assessment of heavy metal pollution in urban soils of Havana city, Cuba. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2011; 87: 414-419.
- [18]. HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Res.* 1990; 14:975-1001.
- [19]. United States Environmental Protection Agency. Guidelines for the health risk assessment of chemical mixtures EPA/630/R-98/002. Washington DC, 1986.
- [20]. United States Environmental Protection Agency. Risk Assessment Guidance for superfund. EPA/540/1-89/002. In: Human health evaluation manual. vol. I. Office of solid waste and emergency response. Washington DC, 1989.
- [21]. United States Environmental Protection Agency. Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites. Office of Emergency and Remedial Response, Washington DC, 2002.
- [22]. United States Environmental Protection Agency. Exposure factors handbook. PA/600/P-95/002F.PA. Office of research and development. Washington, DC, USA. 1997.
- [23]. United States Environmental Protection Agency. Soil screening guidance: technical background document. Washington DC, 1996.
- [24]. United States Environmental Protection Agency. Risk assessment guidance for superfund. Volume III-Part A. Process for conducting probabilistic risk assessment. EPA540-R-02-002. Washington DC, 2001.
- [25]. National Center for Environmental Assessment. Child-specific exposure factors handbook. EPA-600-P-00-002B. Washington DC, 2001.
- [26]. ZHENG N, LIU J, WANG Q, LIANG Z. Heavy metals exposure of children from stairway and sidewalk dust in the smelting district, northeast of China. *Atmos Environ.* 2010; 44: 3239-3245.
- [27]. LI RZ, ZHOU AJ, TONG F, et. al. Distribution of metals in urban dusts of Hefei and health risk assessment. *Chin J Environ Sci.* 2011; 32: 2661-2668.
- [28]. United States Environmental Protection Agency. Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites. Office of Solid Waste and Emergency Response (OSWER). Washington DC, 2011.
- [29]. MAN YB, SUN XL, ZHAO YG, et. al. Health risk assessment of abandoned agricultural soils based on heavy metal contents in Hong Kong, the world's most populated city. *Environ Int.* 2010; 36: 570-576.
- [30]. CHEN J, WANG W, LIU H, REN L. Determination of road dust loadings and chemical characteristics using resuspension. *Environ Monit Assess.* 2012; 184: 1693-1709.
- [31]. LU X, WU X, WANG Y, et. al. Risk assessment of toxic metals in street dust from a medium-sized industrial city of China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2014; 106: 154-163.
- [32]. FERREIRA-BAPTISTA L, DE MIGUEL E. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmos Environ.* 2005; 38: 4501-4512.
- [33]. PHIL-EZE PO. Variability of soil properties related to vegetation cover in a tropical rainforest landscape. *J Geogr Reg Plan.* 2010; 3: 177-184.
- [34]. HAN Y, DU P, CAO J, POSMENTIER ES. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Sci Total Environ.* 2006; 355:17-186.
- [35]. KARIM Z, QURESHI BA, MUMTAZ M, QURESHI S. Heavy metal content in urban soils as an indicator of anthropogenic and natural influences on landscape of Karachi: a multivariate spatio-temporal analysis. *Ecol Indic.* 2014; 42: 20-31.

Recibido: 18 de marzo de 2021

Aceptado: 21 de julio de 2021

Estudios de personalidad y de percepción de riesgo aplicados a los peligros ocupacionales durante empleo de fuentes de radiaciones ionizantes

Antonio Torres Valle¹, Ana Teresa Carbonell Siam², Lidia Lauren Elías Hardy¹

¹ Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC) de la Universidad de La Habana

² DINVAI Construcciones SA, MICONS

atorres@instec.cu, ana@dinvai.cu, lauren@instec.cu

Resumen

Aunque la evolución de la teoría sobre la seguridad ocupacional muestra una tendencia hacia la responsabilidad de la organización en esta temática, no hay dudas de la importancia del factor humano individual en el enfrentamiento de los peligros. Los test de personalidad pueden contribuir a conocer en que forma cada individuo enfrentará actividades con posible riesgo asociado. Es posible integrar los estudios de personalidad con los de percepción de riesgo. El objetivo de este trabajo es presentar una metodología que combina métodos informatizados de test de personalidad con las capacidades de un sistema de evaluación de percepción de riesgo que permite integrar aspectos que resultan trascendentales en la identificación de puntos débiles en la seguridad individual, los que tributan al diseño de planes de formación que promueven actitudes seguras frente a los peligros laborales. Un sector clave de riesgos laborales es el de actividades que emplean fuentes de radiaciones ionizantes, entre los que se encuentran la gammagrafía y las prácticas de medicina radiológica. Como ejemplo de aplicación de la metodología desarrollada se muestra un estudio individual realizado a un trabajador de gammagrafía industrial. El resultado muestra que se trata de un trabajador cuya percepción de riesgo y personalidad denotan una marcada propensión a accidentes.

Palabras clave: factores humanos; riesgos; valoración de riesgo; comportamiento; gammagrafía; seguridad ocupacional.

Studies of personality and risk perception applied to occupational risks during use of ionizing radiation sources

Abstract

Although the evolution of the theory on occupational safety shows a trend towards the responsibility of the organization in this matter, there is no doubt about the importance of the individual human factor in the confrontation of dangers. Personality tests can help to know how each individual will face activities with possible associated risk. It is possible to integrate personality studies with risk perception studies. The objective of this work is to present a methodology that combines computerized personality test methods with the capabilities of a risk perception evaluation system that allows integrating aspects that are transcendental in the identification of weak points in individual safety, which are taxable to the design of training plans that promote safe attitudes towards occupational hazards. A key sector of occupational hazards is that of activities that use sources of ionizing radiation, including gammagraphy and radiological medicine practices. As an example of the application of the developed methodology, an individual study carried out on an industrial gammagraphy worker. The result shows that the worker risk perception and personality denote a marked propensity for accidents.

Key words: human factors; risks; risk assessment; behavior; gamma radiography; occupational safety.

Introducción

La evolución de las diferentes teorías que explican la ocurrencia de accidentes ha avanzado desde la preponderancia de la responsabilidad individual, según la teoría de Heinrich en la década de 1930, al realce del rol de la organización en la seguridad ocupacional de acuerdo con Frank Bird que postuló, en los años 1960, que el 80 % de los problemas relativos a un accidente son ajenos a la responsabilidad del trabajador y que muchas de las cuestiones asociadas son dependientes de la organización. En la década de 1970, Chávez Donoso planteó un modelo probabilista del accidente laboral donde, según este experto, a mayor prevención será menor la propensión al accidente y las pérdidas, insistiendo en la responsabilidad de la organización por la seguridad laboral [1].

Los enfoques más modernos de la seguridad han desarrollado principios que explican la existencia de características genéricas que justifican el estudio a fondo de los temas del riesgo, no solo laboral, sino tecnológico y ambiental. De esta forma, se desarrollaron los Principios Básicos de Seguridad [2], originados en el sector nuclear y hoy extendidos a otras ramas del ámbito productivo y ambiental.

En los principios básicos de seguridad destacan cuatro grupos esenciales: los fundamentales de gestión, los de defensa en profundidad, los técnicos generales y los específicos. Estos principios, se subdividen en subprincipios en los cuales, aunque resaltan aspectos técnicos, destaca el factor humano por su relevancia en la temática de riesgo.

Uno de los principios básicos que soporta el enfoque teórico y práctico del factor humano es la cultura de la seguridad, definida como el conjunto de actitudes y comportamientos de la organización y los individuos que demuestran la prioridad que se otorga a los problemas relacionados con la seguridad [3]. En este concepto destacan no solo la organización, sino el rol de los individuos en su desempeño de actitudes seguras. Un enfoque más práctico de la seguridad plantea que la cultura de seguridad es aquello que, se hace correctamente respecto a los peligros cuando nadie observa. Ello da nuevamente relevancia notable al rol del individuo [4].

Desde todos los enfoques mostrados, resulta importante que la organización despliegue, desde sus orígenes, un sistema de selección de personal que garantice la mejor plantilla para conseguir actitudes seguras en el enfrentamiento de los riesgos. De esta forma, aunque se entiende que la seguridad es responsabilidad de la organización en su superestructura, es esencial el rol de los individuos en el desempeño de un ambiente seguro.

En un ambiente muy desarrollado de la seguridad es necesaria una elevada cultura de la seguridad, sin embargo, en niveles más bajos y aún en los más elevados de esta cultura, existe el fenómeno de la percepción de riesgo frente a los peligros. Esta percepción constituye la primera barrera para la sobrevivencia la cual, instintivamente, cada persona posee.

Aunque la percepción de riesgo también se puede modificar, y tiene su más alto escalón en la propia cultu-

ra de la seguridad, tal percepción es un fenómeno que ha sido objeto de estudio por sí misma, desde los enfoques de importantes expertos [5-12].

La percepción de riesgo es el reflejo del peligro en los sentidos del individuo, lo cual hace que cada persona adopte diferentes comportamientos en su enfrentamiento. Pero tal reflejo del peligro no es homogéneo. Cada persona posee características personales y culturales que implican diferentes grados de percepción del riesgo. Es manifiesto que la percepción del riesgo se ha convertido en un regulador del desarrollo científico, sobre la base de la aceptación o rechazo que las tecnologías provocan en la sociedad desde el punto de vista de sus riesgos asociados [5-12].

La literatura refleja varios métodos de estudio de percepción de riesgo. Entre ellos se pueden citar el de ecuaciones estructurales y el de perfil de riesgo percibido [9-11]. El método del perfil de riesgo percibido, de mayor interés para la investigación que se desarrolla, consiste en la obtención de perfiles gráficos en forma de línea quebrada descriptores del comportamiento de variables politómicas ordinales, que caracterizan la percepción del riesgo. Tales variables persiguen fragmentar el pensamiento para su estudio y se dividen, de manera general, en tres grupos, las individuales, las de naturaleza física y las de riesgo gestionado [5-8, 12].

Se ha determinado que son diversas las variables de percepción de riesgo que más se relacionan con la personalidad. Por ejemplo, se identifican algunas de las individuales, como la familiaridad con la situación de riesgo, la voluntariedad a exponerse, la involucración personal e incertidumbre respecto al conocimiento sobre dicho riesgo, así como la propia comprensión de los riesgos. [5-8]. También se relacionan con la personalidad la sensación de pánico, variable que se enmarca en las de naturaleza física. En este sentido, las características personales como temeridad, precaución, entusiasmo, sagacidad, tenacidad son, entre otras, factores que pueden afectar a las variables mencionadas y que matizan diferentes formas de percibir los peligros.

Todo lo anterior aconseja que, para la evaluación de la percepción de riesgo, sean tenidas en cuenta también las características personales de los individuos, potenciales víctimas de los peligros.

Existen diferentes enfoques para los estudios de personalidad. La literatura refleja algunos, que se han tomado como ejemplos ilustrativos: DISC, test de Cleaver, Spranfer, Herman, etc. [13].

El método DISC [13], postulado por William Marston en 1928 caracteriza la personalidad del sujeto en cuatro dimensiones o factores: dominancia (D), como el movimiento activo y positivo en un medio ambiente antagónico (representa aptitudes para la dirección); influencia (I), como el movimiento activo y positivo en un medio ambiente favorable (capacidades de relaciones humanas); sumisión (S), como cierta pasividad en un medio ambiente favorable (capacidades de ejecución de tareas rutinarias); y cumplimiento (C), como la respuesta tentativa a un medio ambiente antagónico diseñado para reducir el grado de antagonismo (capacidad de apego

a normas y procedimientos). De esta forma, cada individuo es una mezcla de atributos que lo enmarca en un perfil que caracterizan su personalidad.

Cleaver creó en 1959 en Princenton, New Jersey, una adaptación para los estudios psicométricos ocupacionales, y asignó a algunas dimensiones nuevos nombres, por ejemplo, la Sumisión fue rebautizada como Estabilidad o Serenidad [13]. Su teoría estudia la correspondencia de las personas con los puestos laborales, a partir de dos tipos de perfiles, uno descrito como Factor Humano que contiene la descripción del puesto de trabajo (generalmente preparado por los jefes) y otro conocido como Autodescripción, el cual representa a los individuos objeto del estudio de personalidad [13-15]. El factor humano se estudia a través de un cuestionario que permite describir los requisitos personales demandados por el puesto de trabajo, mientras que la auto-descripción se estudia a través de un cuestionario de 28 ternas de atributos de la personalidad [14,15].

Algunos de los atributos relacionados con los individuos permiten identificar aspectos favorables y desfavorables para asumir posturas frente a los riesgos. La incorporación de los atributos de la personalidad a los estudios de las conductas frente a los riesgos ha sido preocupación de expertos en el tema, quienes han desarrollado diferentes enfoques teóricos y metodológicos como: el de conductas frente a los riesgos (CFR) [16], accidentes vs. personalidad [17] y el de la relación entre perfil psicológico y accidentalidad [18].

Dado que cada factor está caracterizado por un grupo de preguntas, las respuestas a las mismas permiten establecer distribuciones probabilísticas de frecuencia de las respuestas, las que conforman distribuciones gaussianas, donde se identifican los valores medios más representativos de cada variable. Finalmente, con los valores medios se diseñan perfiles de conducta frente a los riesgos, los que caracterizan las probabilidades de accidentalidad de cada individuo encuestado.

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar una metodología que combina un test de personalidad con un sistema de evaluación de percepción de riesgo, lo que permite acoplar aspectos que resultan trascendentales en la identificación de puntos débiles en la seguridad individual. Esta metodología fue implementada en un programa informático. Partiendo de la importancia de los accidentes laborales en las prácticas con uso de fuentes de radiaciones ionizantes [19], constituye un buen ejemplo ilustrativo, su empleo en un área de Gamagrafía industrial.

Materiales y métodos

Estudios de percepción de riesgo empleando RISKPERCEP

RISKPERCEP es una herramienta desarrollada desde el 2005 para acometer estudios de riesgo subjetivo de tipo ocupacional y de percepción pública de los riesgos [5-8]. Un algoritmo resumen del código se muestra en la figura 1.

El código se basa en la fragmentación del pensamiento a través de variables politómicas ordinales. Las variables son investigadas a través de encuestas especializadas, en las que prevalecen preguntas de tipo cerrado, creciente y unipolar. Se ha establecido una escala de Lickert sencilla de tres niveles de respuestas cerradas, donde 1 significa subestimación y 3 sobrestimación del riesgo, siendo 2 la estimación adecuada del riesgo.

Las variables pueden tener comportamiento directo, inverso o extremo respecto a la percepción de riesgo asociada. El catastrofismo y la inmediatez de consecuencias son ejemplos de variables de comportamiento directo. Entre las variables de comportamiento inverso (mientras más crecen menos se percibe el riesgo), se encuentran la voluntariedad a exponerse y la reversibilidad de las consecuencias. Las variables de comportamiento extremo son aquellas donde en niveles bajos o altos de su expresión se subestima el riesgo, por ejemplo, la comprensión del riesgo (subestima el riesgo tanto el ignorante como el experto) y la demanda laboral (se subestima el riesgo ante la monotonía o el estrés por carga laboral).

Una vez aplicada la encuesta los resultados son compilados. Con las variables, las encuestas y las compilaciones, el programa ofrece tablas y perfiles de riesgo percibido a nivel de variables.

Los valores de percepción de riesgo calculados por RISKPERCEP son promedios a diferentes niveles. Como parte del desarrollo de la herramienta matemática, se postuló el empleo de promedios para representar variables que se caracterizan, en su origen con valores cualitativos, a los que se asignan cifras.

Por cada individuo se obtienen las percepciones por variable, que se calculan como el promedio de calificación de todas las preguntas asociadas a dicha variable. A su vez, cada individuo tiene una percepción promedio en base a los valores de las variables individuales contenidas en el estudio. A nivel grupal, se calculan los valores de percepción por cada variable estudiada, como el prome-

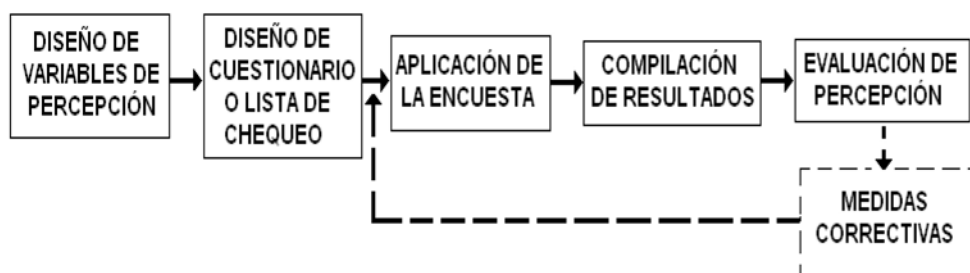


Figura 1. Algoritmo de estudio de percepción de riesgo empleado en RISKPERCEP.

dio de las variables calculadas por individuo. Para todo el grupo será posible estudiar la percepción global como el promedio de todas las variables medias anteriores.

Asimismo, el código permite estudios de calidad de la encuesta, para lo que mide la probabilidad de respuesta al azar en base a distribuciones de Gauss, así como suficiencia de la muestra.

Una vez realizados los estudios se determinan las debilidades en la percepción de riesgo, las cuales son corregidas a través de planes de capacitación y comunicación. La efectividad de las medidas puede ser verificada repitiendo los estudios en etapas ulteriores.

Estudios de personalidad – puesto de trabajo empleando RISKPERCEP

Teniendo en cuenta la utilidad que han demostrado los estudios de personalidad para la predicción del desempeño de actitudes seguras, se incorporaron opciones al código RISKPERCEP que permiten realizar estudios de puesto de trabajo y test de personalidad.

Los test de personalidad, incorporados a la herramienta, se han basado en las directivas de Cleaver [13]. A cada individuo estudiado se le aplica un test que consiste en determinar dos atributos (uno Más y otro Menos), entre 28 ternas de atributos de la personalidad. Utilizando la calificación de las ternas se elaboran los perfiles DISC de cada individuo, sujetos a reglas que han sido claramente establecidas en los documentos correspondientes [13]. De esta forma, cualquier individuo es una combinación de las dimensiones de la personalidad, las que se resumen en perfiles.

Cada tabla o gráfica DISC responde, en general, a perfiles prediseñados o clásicos, cuyas correspondencias son diagnosticadas por el código. Dado que puede resultar irreconocible una correspondencia exacta con los perfiles clásicos, el sistema advierte al menos, de la cercanía con perfiles semejantes.

Al igual que para el test de personalidad, cada puesto de trabajo puede ser representado por un grupo de características, las cuales se le asignan a través de un cuestionario especializado de 24 preguntas. Con el llenado del cuestionario por un jefe o persona capacitada, es posible obtener la tabla y el perfil del puesto. De manera similar a los estudios de personalidad, los perfiles de los puestos de trabajo son cuantificados en base a metodologías bien establecidas en los documentos de partida según Cleaver [13-15].

A partir de las investigaciones realizadas respecto a Conducta frente al Riesgo [16] fue posible establecer el grupo de premisas para asociar los estudios de per-

cepción a las particularidades sugeridas por este experto. Adicionalmente, las investigaciones de Mena [16] se basan en variables de CFR, que son investigadas a través de un cuestionario especializado. Un enfoque similar adopta RISKPERCEP para sus estudios, en base a variables y encuestas (tabla 1).

La investigación de las variables declaradas en la tabla 1 se realizó a través de un cuestionario de 35 preguntas (3 para Estrés, 4 para Impulsividad, 8 para Habilidades Sociales, 3 para Autoestima, 8 para Control de Ideas Irracionales y 9 para Metas de Vida) elaborado a partir de herramientas de medición para las variables propuestas [20-23].

Resultados

Esta investigación recopiló 17 perfiles clásicos de personalidad, los que fueron acoplados con el sistema RISKPERCEP. El valor de las dimensiones de personalidad está también asociado a las características de las actividades más afines a cada puesto de trabajo. Esto permite deducir el tipo de actividad y puesto que, preferiblemente, se debe asignar a cada persona. También es posible, de acuerdo a los atributos relevantes, conocer cuan recomendable es la persona para desempeñar actividades con riesgo asociado, o sea, cuan propenso a accidentes, es cada individuo.

Los perfiles de los puestos responden a los mismos perfiles de los test de personalidad. De esta forma, el sistema permite, a través de opciones comparativas, investigar la correspondencia de cada personalidad con los puestos existentes, ya sea en su carácter genérico (perfiles de test de personalidad) o en su carácter específico (perfiles prediseñados por especialistas de la propia institución).

El resultado de la comparación incluye, no solo la presentación simultánea de los perfiles de personalidad y de puesto, sino también el diagnóstico automatizado de la correspondencia personalidad-puesto y la sugerencia de medidas a tomar para corregir las divergencias.

Un resultado colateral del estudio muestra para qué tipos de tareas se presentan atributos en la personalidad de cada individuo. Para ello, el sistema simplificó los frentes de trabajo a tareas como administrativos, operación, producción e investigación (tabla 2).

Ejemplo de estudio combinado de personalidad y de conducta frente al riesgo

El área de Gammagrafía Industrial está claramente representada entre las más riesgosas por los peligros asociados al manejo de fuentes de radiaciones ioni-

Tabla 1. Variables de CFR aplicadas al estudio de percepción

Variable	Código	Comportamiento	Observación
Estrés	STRE	Extremo	En los extremos de bajo y alto estrés se manifiesta subestimación del riesgo
Impulsividad	IMPU	Inverso	A mayor impulsividad menos percepción
Habilidades sociales	SOCI	Directo	A más habilidades sociales más percepción
Autoestima	ESTI	Directo	A más autoestima más percepción
Ideas irracionales	IRRA	Inverso	A más ideas irracionales menos percepción
Metas de vida	META	Directo	A más claras metas de vida más percepción

Tabla 2. Relación Actividad – Atributos

Actividad	Atributos
Administrativo	Competitivo, Perfeccionista, Analítico, Independiente, Ideas firmes, Lógico, Estratega, Establece altos criterios, (Promotor) Responsable (Concienzudo), Estable (Resuelto)
Operación	Responsable (Concienzudo), Ágil, Proactivo (comunicativo), Preciso (rápido), Observador (perceptivo, analítico), Activo, Perseverante (insistente), Servicial (complaciente, sociable, atento), Independiente, Atento, Cooperativo (colaborador)
Producción	Cooperativo (colaborador), Receptivo, Perseverante (insistente), Autosuficiente, Responsable (Concienzudo), Perfeccionista, Ordenado (preciso), Activo (inquieto), Atento, Servicial (complaciente, sociable, atento), Detallista (cuida detalles)
Investigación	Competitivo, Planificador, Autosuficiente, Dominante, Flexible (adaptable), Extrovertido, Impulsor (promotor, impulsivo), Responsable (Concienzudo), Observador (perceptivo, analítico), metódico, agresivo, investigador

Nota: Cuando ha sido necesario, se han colocado entre paréntesis sinónimos correspondientes con los atributos de personalidad contenidos en test de Cleaver

zantes [20]. El método propuesto fue aplicado a un trabajador de Gammagrafía industrial con experiencia de más de 10 años, conocedor de los principios de la protección radiológica y de los peligros asociados a su labor.

El sistema identificó una vez evaluado y graficado el perfil de personalidad del individuo (lado izquierdo de la figura 2), el perfil clásico que más lo representa entre los contenidos en el sistema. En este caso, se asocia el perfil evaluado con el patrón del Promotor (lado derecho de la figura).

El sistema informático tiene como opciones adicionales la del Perfil del puesto – Individuo recomendado, donde se presentan la características ideales que debe tener el individuo que puede ocupar ese puesto; y la Comparación del patrón de la personalidad obtenida con puestos de trabajo (genéricos o prediseñados), donde se aprecia correspondencia entre la dimensión de la personalidad más importante (I- Influencia) del test del individuo estudiado con el requerido por el puesto (figura 3).

Cuando se realiza la comparación del perfil de un individuo, que no se corresponde con el puesto requerido, el sistema ofrece un resultado de alerta que recomienda la dimensión a modificar y las acciones que deben ejecutarse. En el caso de estudio, el puesto requerido es de especialista y la alerta presenta necesidades de incremento de atributos que refuercen la estabilidad o constancia (S).

Asimismo, el sistema sugiere las Tareas recomendables de acuerdo al perfil de personalidad obtenido, donde se aprecian los atributos más importantes para las tareas de Gerencia, Producción, Operación o Investigación; así como los Riesgos, donde se identifican sugerencias sobre asunción a este tipo de tareas y atributos para asumir tareas con peligros asociados.

La determinación de la conducta frente al riesgo CFR para el individuo estudiado, partiendo de las respuestas dadas a la encuesta de 35 preguntas, ha arrojado los resultados mostrados en la figura 4 sin incluir su perfil de personalidad. Se trata de un individuo que subestima el riesgo por alto estrés y por alta impulsividad, mientras que sobrestima por alta autoestima y altas metas de vida. El valor medio de percepción es casi adecuado (2,1, ya que 2 es la estimación adecuada), y no resulta un buen indicador de conducta frente al riesgo. Al combinarse las respuestas con el test de personalidad se obtienen los resultados graficados en la figura 5.

Como se observa, se obtiene un resultado poco sensible, como valor promedio de percepción (1,9), que sea útil para diagnosticar la estimación del riesgo, sin embargo, ya se identifica un valor menor que 2 de percepción, por lo que se trata de un individuo que subestima claramente los riesgos. En este individuo se combinan el alto estrés y alta impulsividad, lo que unido a los atributos de su personalidad recomiendan tomar medidas respecto a la tarea que desempeña.



Figura 2. Patrón de personalidad vs. Patrón del puesto representativo

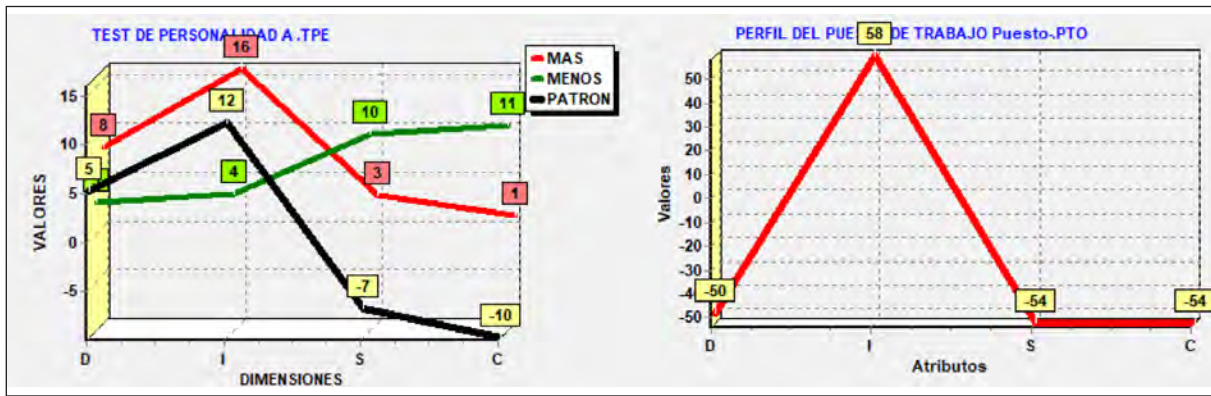


Figura 3. Patrón de personalidad vs. Patrón del puesto específico.

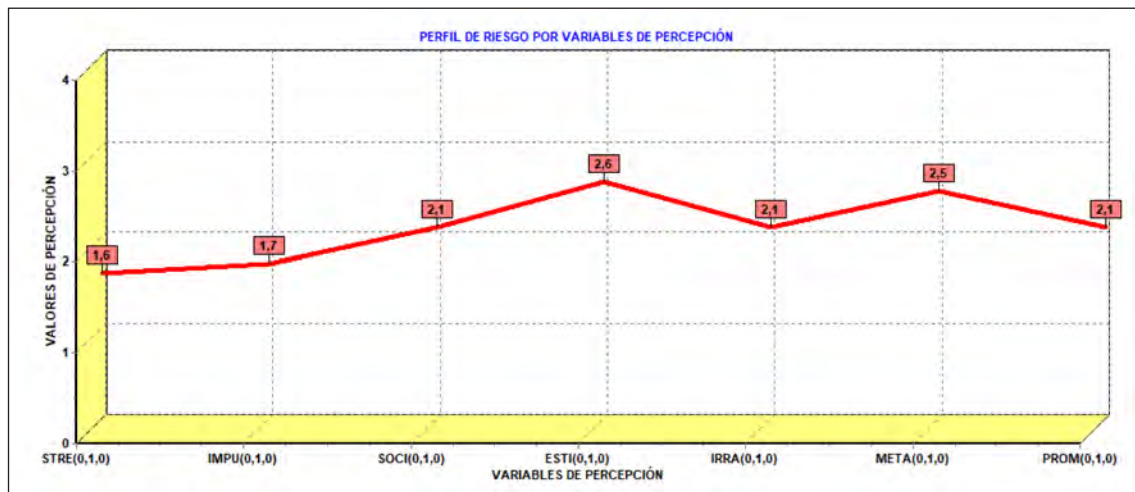


Figura 4. Perfil de CFR sin incluir perfil de personalidad.

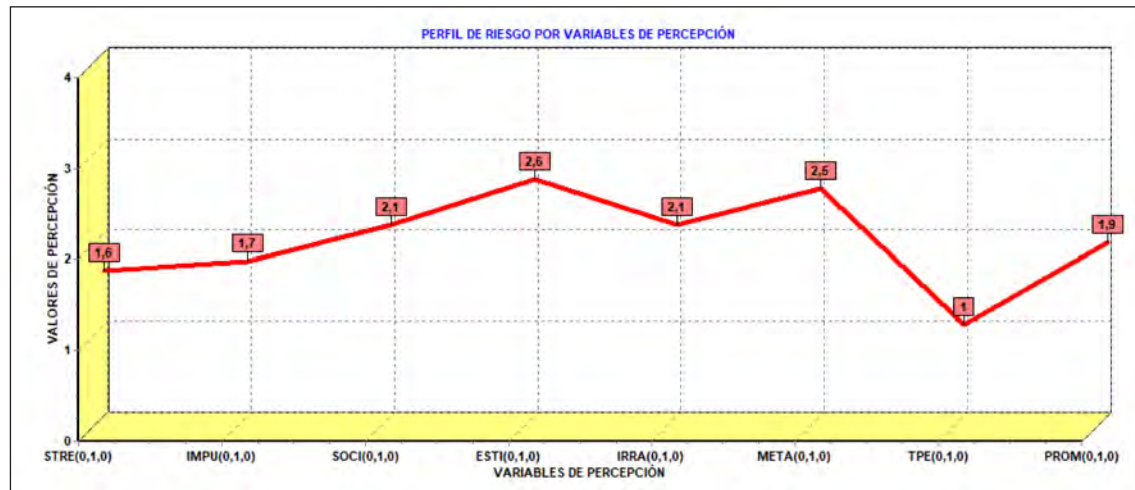


Figura 5. Perfil de CFR con la inclusión del perfil de personalidad.

Discusión

Una vez estudiada la personalidad del individuo, se descubren sus insuficiencias para asumir el perfil del puesto que se encuentra desempeñando (especialista). De manera adicional, el estudio de CFR combinado con el perfil de personalidad refuerza la idea de las limitaciones del especialista para ejecutar las labores que desarrolla.

Por los riesgos asociados a la labor de Gammagrafía, este especialista requiere corrección de los atributos que lo distinguen, pues se trata de un trabajador que en su percepción de riesgo (alto estrés e impulsividad) y

personalidad (atrevido, tenaz, impetuoso, entre otras), denota una marcada propensión a accidentes. Se recomienda elaborar y ejecutar un plan de capacitación y concientización de este individuo, donde se realicen acciones que desarrollen actitudes para acometer su labor con mayores precauciones. La investigación de este caso es una alerta para los procesos de otorgamiento de licencia de trabajo para este tipo de labor.

Los detalles ofrecidos en el análisis son el resultado, prácticamente íntegro, del procesamiento informático realizado por el código. Este proceso simplifica notablemente la labor del analista, ya que disminuye las nece-

sidades de personal experto en esta área para la toma de decisiones.

Limitaciones del método propuesto

Algunos expertos citan las limitaciones de los estudios basados en test de personalidad para concluir caracterizaciones de los individuos. En este sentido, este estudio apoya estos planteamientos, asegurando que la herramienta desarrollada es un soporte complementario para la solución del problema de los análisis de propensión a los riesgos.

Conclusiones

A pesar de la importancia del factor organizacional e institucional en la seguridad ocupacional, no hay dudas del rol del individuo.

La investigación realizada permite trazar pautas respecto a la relación entre las características de la personalidad, la percepción de riesgo y la propensión a la accidentalidad.

El desarrollo de métodos de integración de tests de personalidad con la conducta frente a los riesgos a través de técnicas de estudio de percepción de riesgo es una alternativa de combinación, desarrollada metodológica e informáticamente en esta investigación.

El caso del individuo estudiado presentado demuestra la utilidad de estos estudios para las tareas de selección de personal y para la corrección de atributos, cuando se trata de asumir actividades con riesgo asociado. Su empleo puede extenderse al proceso de otorgamiento de autorización para estos tipos de trabajo.

La investigación propuesta, junto a la base informática desarrollada, abre un camino de investigación promisorio para estudios en múltiples frentes relacionados con la seguridad laboral, tecnológica y ambiental.

Referencias bibliográficas

- [1]. TORRES VALLE A & RIVERO OLIVA J. Mantenimiento orientado a la seguridad. 2006. ISBN: 959-7136-10-4.
- [2]. Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA). Principios básicos de seguridad para centrales nucleares. 75-INSAG-3. Viena: OIEA, 1991.
- [3]. Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA). Cultura de la Seguridad. 75-INSAG-4. Viena: OIEA, 1991.
- [4]. Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares. Cultura de Seguridad en las organizaciones, instalaciones y actividades con fuentes de radiación ionizante. 2015.
- [5]. TORRES VALLE A & CARBONELL SIAM AT. Análisis de percepción de riesgos laborales de tipo biológico con la utilización de un sistema informático especializado. Revista Cubana de Farmacia. 2013; 47(3) [consulta: 2 de octubre de 2020]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152013000300005
- [6]. TORRES VALLE A, GAREA MOREDA B, JAUREGUI HAZA U, et. al. Estudio de percepción de riesgo asociado al cambio climático en el sector educacional. Revista Cubana de Salud y Trabajo. 2017; 18(1): 3-13. [consulta: 2 de octubre de 2020]. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol18_1_17/rst01117.htm
- [7]. PELL DEL RÍO SM, LORENZO RUIZ A, TORRES VALLE A. Determinación de la percepción de riesgo de la población ante los productos químicos peligrosos, Revista Cubana de Salud Pública. 2017; 43(2). [consulta: 2 de octubre de 2020]. Dispo-

nible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662017000200002

- [8]. BARROSO GUZMÁN D, TORRES VALLE A, OBREGÓN LUNA JJ, CASARES LI R. Determinación de la percepción de riesgos en los trabajadores de alto riesgo en ETECSA Sancti Spiritus. Revista Cubana de Salud y Trabajo. 2019; 20(1): 23-9. [consulta: 2 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubsaltra/cst-2019/cst191d.pdf>
- [9]. PORTELL VIDAL M, SOLÉ GÓMEZ MD. Riesgo percibido, un procedimiento de evaluación. Normas de Trabajos Peligrosos. Universidad Autónoma de Barcelona. NTP 578, 2007. [consulta: 2 de octubre de 2020]. Disponible en: https://www.cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP%20578%20-%20Riesgo%20percibido%20un%20procedimiento%20de%20evaluacion.pdf
- [10]. BENAVIDES FG, GIMENO D, BENACH J, et. al. Descripción de los factores de riesgo psicosocial de cuatro empresas. Barcelona. Gaceta Sanitaria. 2002; 16(3) [consulta: 2 de octubre de 2020]. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112002000300005
- [11]. MELIÁ JL & SESÉ A. La medida del clima de seguridad y salud laboral. Anales de Psicología, Universidad de Valencia. 1999; 15(2): 269-289. [consulta: 2 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.uv.es/~meliajl/Segur/A72Clima/A72.pdf>
- [12]. PRADES LÓPEZ A & GONZÁLEZ REYES F. La percepción social del riesgo: algo más que discrepancia Expertos-Público. Nucleus. 1999; (26): 3-12. [consulta: 2 de octubre de 2020]. Disponible en: https://ceiden.com/wp-content/uploads/2020/04/Prades_Percepcion-Social-Riesgo-Nucleus-1999.pdf
- [13]. Técnica Cleaver. Evaluación del factor humano de la organización.
- [14]. Inventario DISCernimiento personal. 2000
- [15]. Manual de matriz psicométrica para el Personal Proficiency Profile. 2000
- [16]. LÓPEZ MENA L. Conducta frente al riesgo. Manual del test CFR. Agosto, 2017.
- [17]. XIMENA ZAPATA PAVÉZ P, JIMENEZ GALLARDO C, RAMIREZ HINOSTROZA C. Análisis de las variables psicológicas que explican la ocurrencia de accidentes entre trabajadores de cosecha forestal en la Región de la Araucanía. Fundación Científica y Tecnológica, 2012.
- [18]. SARAVIA LÓPEZ MA. Relación entre perfil psicológico y accidentalidad en una fábrica industrial. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Lima, Perú. Disponible en: <https://doi.org/10.19083/tesis/624951>
- [19]. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Lessons learned from accidents in industrial radiography. Colección de Informes de Seguridad. No 7. Viena: OIEA, 1998.
- [20]. SUAZO LE & TORRES VALLE A. Percepciones, conocimiento y enseñanza de cambio climático y riesgo de desastres en universidades hondureñas. Form. Univ. 14(1), 2021 Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/formuniv/v14n1/0718-5006-formuniv-14-01-225.pdf>
- [21]. CAMPO-ARIAS A, OVIEDO HC, HERAZO E. Escala de estrés percibido: desempeño psicométrico en estudiantes de medicina de Bucaramanga, Colombia. Rev. Fac. Med. 2014; 62(3): 407-13. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v62n3.43735>
- [22]. Banco Interamericano de Desarrollo Prada, María Fernanda. Instrumentos para la medición de las habilidades de la fuerza de trabajo / María Fernanda Prada, Graciana Rucci. p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1070), Julio 2016.
- [23]. CHAVEZ CASTAÑO L. Test de creencias irracionales. Revista de Psicología. Universidad de Antioquia, 2010.

Recibido: 7 de junio de 2021

Aceptado: 21 de julio de 2021

SECURE-MR-FMEA código cubano para análisis integral de riesgo de prácticas con radiaciones ionizantes

Antonio Torres Valle¹, Zayda Amador Balbona², Rodolfo Alfonso Laguardia¹, Lidia Lauren Elías Hardy¹

¹ Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC) de la Universidad de La Habana

² Centro de Isótopos (Centis)

atorres@instec.cu, zabalbona@centis.edu.cu, rodocub@yahoo.com lauren@instec.cu

Resumen

La consulta sobre los estudios de riesgo aplicados a prácticas con radiaciones ionizantes muestra el empleo de métodos prospectivos y reactivos, a los que se asocian no sólo ventajas, sino también algunos inconvenientes. El acoplamiento sistemático de estos métodos puede ser un recurso para reunir las ventajas y compensar dichos inconvenientes. La garantía de tal desarrollo requiere de una base metodológica e informática. El objetivo de este trabajo es presentar el código cubano SECURE-MR-FMEA, sus características y capacidades para integrar los métodos de matriz de riesgo, análisis de modos y efectos de fallo y una base de datos propia con capacidades reactivas para aprendizaje por incidentes. El código ha sido desarrollado en el marco de un proyecto nacional de investigación del Ministerio de Salud Pública y es actualmente utilizado por varios usuarios nacionales. Asimismo, para comprobar las capacidades del sistema fueron introducidos los datos derivados de la aplicación del método de análisis de modos y efectos de fallo, según el documento TG-100, a la práctica IMRT. Sobre la base de este modelo se despliegan y discuten los resultados para dicha práctica en todas las modalidades disponibles de evaluación de riesgo.

Palabras clave: riesgo; valoración de riesgo; análisis de tipos de fallos; radioterapia; medicina nuclear; radiaciones ionizantes; IMRT.

SECURE-MR-FMEA Cuban code for comprehensive risk analysis of practices with ionizing radiation

Abstract

The consultation on risk studies applied to practices with ionizing radiation shows the use of prospective and reactive methods, which are associated not only with advantages, but also some disadvantages. The systematic coupling of these methods can be a resource to combine the advantages and compensate for those disadvantages. The guarantee of such development requires a methodological and computer base. The objective of this work is to present Cuban computer code SECURE-MR-FMEA, its characteristics and capacities to integrate the risk matrix methods, FMEA and its own database with reactive capabilities for incident learning. The code has been developed inside the Ministry of Public Health national research project and is currently used by several national users. Likewise, to verify the system's capabilities, the data derived from the application of the failure modes and effects analysis method, according to document TG-100, to IMRT practice were introduced. Based on this approach, the results for said practice in all available modalities of risk studies are displayed and discussed.

Key words: risk; risk assessment; failure mode analysis; reactive database; radiotherapy; nuclear medicine; ionizing radiation; IMRT.

Introducción

Las necesidades de la evaluación del riesgo en prácticas con radiaciones ionizantes han sido claramente identificadas, teniendo su más clara confirmación en el empleo de métodos cuantitativos de evaluación de riesgo en los análisis probabilistas de seguridad (APS) de plantas nucleares [1]. Con una evidente menor complejidad, estos estudios han sido aplicados a instalaciones

y prácticas que emplean radiaciones ionizantes, tales como la medicina radiológica [2, 3] y la gammagrafía industrial.

Otra evidencia de la necesidad de dichos estudios se encuentra en el aparato regulatorio de varias organizaciones internacionales como el OIEA y la ISO [4-7], en recomendaciones del OIEA, como las que aparecen en el Llamado de Bonn a la Acción [8] y en los propios principios básicos de seguridad [9].

Los reportes de incidentes y accidentes en prácticas e instalaciones que emplean radiaciones ionizantes proporcionan un mayor sostén al desarrollo de estas evaluaciones de riesgo. Estos demuestran que no bastan con sistemas de análisis reactivo [10], sino que son necesarios métodos prospectivos por cuanto, existen conocimientos de expertos que avalan la evolución de posibles fallos o errores humanos, que constituyen potenciales iniciadores o facilitadores de accidentes en presencia de estas fuentes de radiaciones.

Adicional a las necesidades ya explicadas, los estudios enunciados han encontrado aplicación a la optimización del diseño y explotación de estas prácticas, destacándose entre otras, las del establecimiento de medidas de defensa [2, 3], el monitoreo del riesgo [11] y la optimización del control y la garantía de calidad [3].

Como compensación a las complejidades de los APS aplicados a medicina radiológica [12], se han desarrollado enfoques como el de matriz de riesgo (MR) [2]. También el análisis de modos y efectos de fallo (FMEA) aplicado a estas prácticas [3] ha demostrado una menor complejidad respecto al APS citado. Por otra parte, las experiencias en cuanto a sistemas de aprendizaje por incidentes [10] han encontrado también aplicación en los estudios de riesgo de medicina radiológica.

De esta forma, en el campo de las evaluaciones de riesgo de prácticas con radiaciones ionizantes han ganado terreno los métodos prospectivos de MR [2] y FMEA [3], así como los métodos reactivos, también conocidos como ILS (Incident Learning System) [10].

Algunos esfuerzos se han desarrollado para acoplar estos métodos. Destacan los realizados por el FORO-OIEA para acoplar la MR con SAFRON [13]. El objetivo esencial de dicho estudio fue la validación con evidencias de eventos ocurridos, de muchos de los iniciadores identificados en la MR preparada para la radioterapia con LINAC en su modalidad 3DC.

Se puede concluir, a partir de lo descrito que existe dispersión en cuanto a los desarrollos de estos métodos, lo cual dificulta su acople para conseguir emplear sus ventajas de manera sistemática.

SECURE-MR-FMEA [11, 14-17] es un código desarrollado en Cuba con el objeto de realizar estudios de riesgo de prácticas con radiaciones ionizantes con enfoque integral. Este código interconecta, de manera amigable, los métodos prospectivos mencionados y una base de datos propia con capacidades reactivas para aprendizaje por incidentes. El desarrollo del sistema, en el marco de un proyecto nacional del Ministerio de Salud Pública de la República de Cuba, ha incluido, además del acoplamiento de los métodos, el diseño de patrones de riesgo para aplicaciones médicas e industriales de las radiaciones ionizantes, y recientemente, su aplicación a otras prácticas de medicina y biológicas con riesgo asociado.

El objetivo de este trabajo es presentar el código SECURE-MR-FMEA, sus características y capacidades para integrar los métodos de MR, FMEA y una base de datos propia con capacidades reactivas para aprendizaje por incidentes.

Materiales y métodos

Los enfoques metodológicos de MR [2], FMEA [3] y los sistemas de aprendizaje por incidentes [10] fueron integrados para el desarrollo del código SECURE-MR-FMEA.

Como patrón de referencia, para comprobar las capacidades del sistema fue empleada la práctica IMRT (Radioterapia de Intensidad Modulada), cuyo riesgo fue exhaustivamente estudiado empleando el método FMEA en el marco de la investigación desarrollada por el Task Group 100 (TG-100) [3]. Los datos obtenidos de dicho estudio fueron introducidos al código, lo cual permitió desplegar todas las modalidades de evaluación de riesgo disponibles, con sus capacidades asociadas.

La figura 1 resume un algoritmo ilustrativo de las capacidades disponibles dentro del código SECURE-MR-FMEA.

Generalidades de los métodos de evaluación de riesgo disponibles en SECURE-MR-FMEA

Las evaluaciones de riesgo de un proceso dado, que emplee fuentes de radiaciones ionizantes, pueden ser realizadas por MR [2] o por FMEA [3]. Cualquiera de ellas comienza con la definición de su mapa de proceso, el cual se descompone en todos sus subprocesos. En el caso de la MR [2], se postulan las secuencias accidentales asociadas a cada subproceso. Cada secuencia accidental está integrada por un suceso iniciador (SI), sus barreras (B) y consecuencias asociadas (C). A partir de magnitudes cualitativas asociadas a los términos SI: F (frecuencia), Pb (probabilidad de fallo de barreras) y C (gravedad), se deducen, desde una matriz tridimensional cualitativa, los niveles de riesgo (R) que alcanza cada secuencia ($R = F * Pb * C$). Además, se identifican las secuencias más contribuyentes por su nivel de riesgo, las medidas de defensa más efectivas para el control del riesgo en la práctica (incluye reductores de frecuencia (RF), barreras (B) y reductores de consecuencias (RC)) y las consecuencias de mayor magnitud.

Un estudio de riesgo que emplea FMEA [3] también necesita identificar los modos de fallo (MF) – causas incluidas en cada subproceso. A cada MF- causa se asocian parámetros de ocurrencia (O), severidad (S) y no detectabilidad (D) cuyos valores se encuentran en una escala de Lickert entre 1 y 10 (1 – mínimo, 10 – máximo), y son asignados por un equipo de expertos. El número de prioridad de riesgo (NPR) es el resultado de la multiplicación de los valores de O, S y D. Finalmente, el equipo de expertos identificar los modos de fallo- causa más contribuyentes al riesgo de la práctica. Como resultado del análisis, se determinan las medidas de defensa que compensan las causas atribuibles para cada combinación MF- causa con el empleo de los árboles de fallo.

Para desarrollar las capacidades de cualquiera de los métodos prospectivos descritos resulta necesario introducir los datos correspondientes al modelo de riesgo objeto de estudio. También se pueden proce-

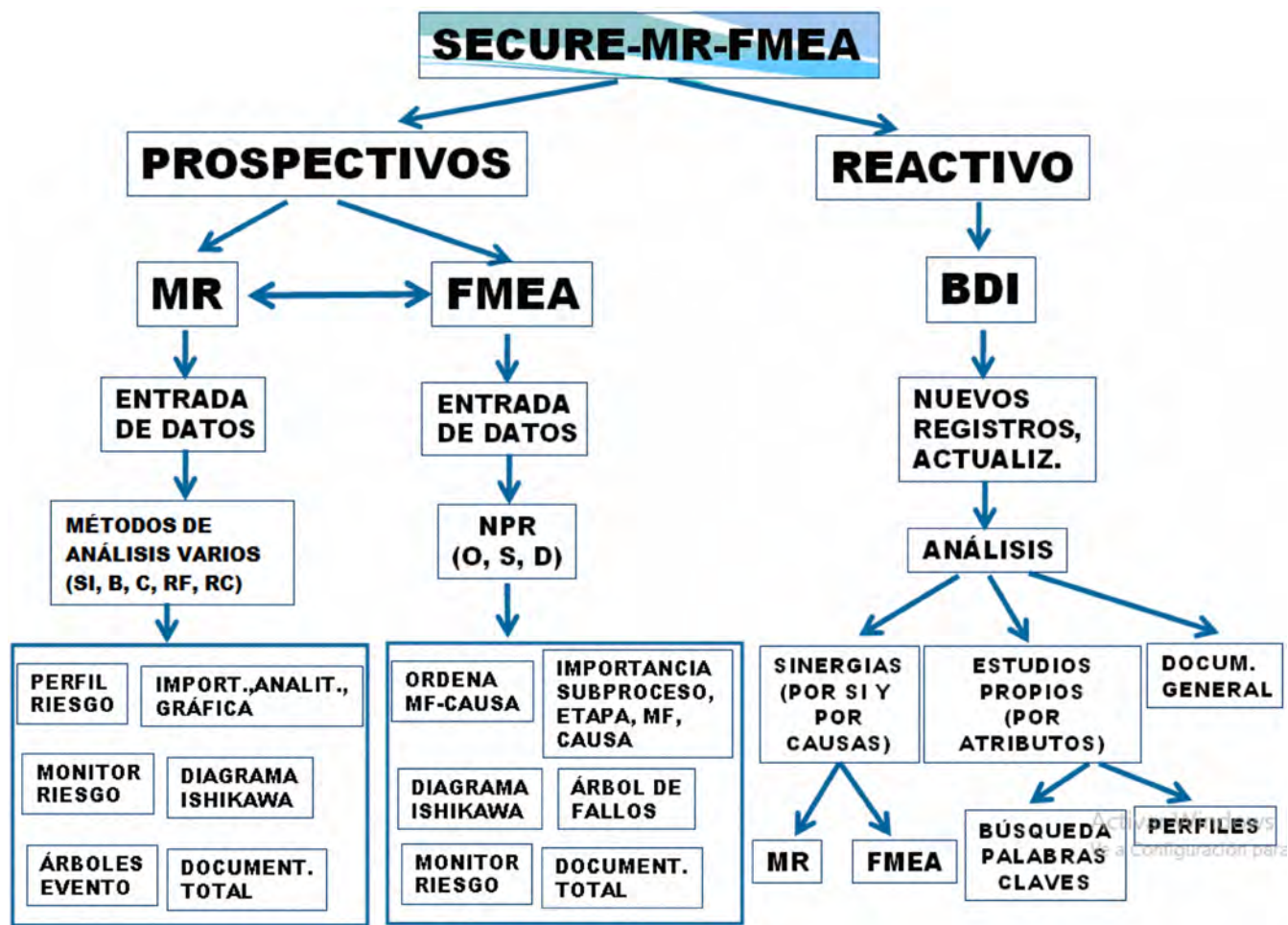


Figura 1. Algoritmo ilustrativo de capacidades del código SECURE.MR-FMEA

sar modelos de prácticas ya existentes. Como filosofía de trabajo al emplear SECURE-MR-FMEA, se ha procurado facilitar a los usuarios patrones de riesgo (MR o FMEA) prediseñados, con lo cual cada cliente adapta dicho modelo a las características particulares de su práctica.

La BDI puede ser actualizada con nuevos datos o ser explotada a partir de los registros actualmente disponibles. En la versión actual se encuentran separados los datos de incidentes recopilados para diferentes prácticas (LINAC, Cobaltoterapia, IMRT, Medicina nuclear). La BDI ha sido diseñada de acuerdo a las experiencias de taxonomía (estructura de bases de datos) tomadas de sistemas reconocidos internacionalmente [10], los que incluyen una información relevante e indispensable para lograr un aprendizaje desde incidentes ocurridos en prácticas similares, que han terminado en daños evidentes a pacientes, personal ocupacionalmente expuesto o público, así como eventos catalogados como cuasi-fallo (near miss).

De manera general, en el diseño del sistema SECURE-MR-FMEA subyacen algunos puntos de acople entre los métodos enunciados. Estos son, las equivalencias entre los parámetros de los métodos prospectivos MR y FMEA, las interconexiones entre los SI de MR y las bases de datos reactivas, el empleo

a nivel de causas de un sistema único de codificación para los MF-causas del FMEA y las bases de datos reactivas, así como un sistema de preasignación de medidas de defensa según las causas definidas en el FMEA. Todos ellos son la base para las conversiones y/o sinergias que se logran entre los métodos disponibles de evaluación de riesgo.

Capacidades de estudio dentro del método matriz de riesgo

Una vez introducido o cargado el modelo de MR, es posible aplicar varios métodos de cálculo basados en la matriz tridimensional de riesgo, los que comprenden un incremento progresivo de su complejidad. Estos son:

1. Evaluación de riesgo incluyendo solamente las redundancias de barreras (método de filtrado).
2. Evaluación considerando la robustez de las barreras y redundancia de los reductores de frecuencia.
3. Evaluación considerando la robustez de las barreras y reductores de frecuencia y de consecuencia.
4. Similar a la tercera, pero diferenciando los efectos de los reductores de consecuencia sobre pacientes y el resto del personal evaluado.

La diferenciación de los resultados entre estos métodos de cuantificación permite estudiar los di-

ferentes grados de alcance de los mismos y realizar análisis de sensibilidad para comprender los efectos sobre el riesgo por la consideración de las diferentes medidas de defensa. Los métodos más recomendables resultan ser el tercero y cuarto, por el grado de incorporación de los efectos de las medidas de defensa sobre el control del riesgo de las secuencias accidentales.

Una vez cuantificado el riesgo, el sistema ofrece diferentes tipos de resultados:

- **Perfiles de riesgo:** Son representaciones tabulares (por cantidades de secuencias con diferente nivel de riesgo en cada subproceso o listados detallados de secuencias ordenadas por su nivel de riesgo) o gráficas (histogramas de la práctica que clasifican las secuencias por su nivel de riesgo combinado con la gravedad de sus consecuencias) de los riesgos de las diferentes secuencias accidentales.
- **Estudios de importancia analítica y gráfica:** Se presentan en forma de listas e histogramas que ordenan por nivel de importancia las secuencias accidentales, las medidas de defensa (B, RF y RC) y las consecuencias. Particularmente, para las defensas se desarrollaron medidas de importancia de diferentes tipos, por ejemplo, contribución porcentual de las mismas a las secuencias accidentales y contribución al riesgo al desaparecer las medidas de defensa. Estos estudios pueden desarrollarse con enfoque individual y, en ocasiones, para combinación de medidas de defensa.
- **Monitor de riesgo:** Permite la inhabilitación (desconexión virtual) individual y/o grupal de las medidas de defensa, lo que da lugar a nuevos perfiles de riesgo, que valoran puntualmente el efecto de dichas desconexiones para el riesgo global. También posibilita acondicionar la práctica al desconectar sucesos iniciadores (y sus correspondientes secuencias accidentales) que no sean aplicables a la práctica objeto de estudio. La información de este monitor es presentada en flujogramas o esquemas, así como, en las secuencias accidentales con su nivel de riesgo (empleando un código de colores). Asimismo, la opción brinda gráficos comparativos de perfiles de riesgo, que permiten contrastar las prácticas modificadas con los perfiles de riesgo de partida o de referencia.
- **Diagrama de Ishikawa (o espina de pescado):** Es construido directamente por el sistema. Cada proceso se representa como un grupo de subprocesos que van, de izquierda a derecha (según avanza el proceso) y se conectan a una columna central, a la cual se le vinculan, escalonadamente, las secuencias accidentales de cada subproceso. Cada secuencia queda evaluada con su nivel de riesgo, según un código de colores. Este sistema facilita notablemente la documentación de la tarea.
- **Árboles de evento:** Cada secuencia accidental puede ser representada gráficamente como un árbol de decisión con sus nodos, incluyendo opción de éxito o fallo. También se emplea el código de co-

lores para representar el estado de los contribuyentes a la secuencia accidental (frecuencia de SI, Pb de barreras y gravedad de C), así como su nivel de riesgo.

- **Documentación total.** Una vez culminado el estudio pueden generarse salidas analíticas o gráficas de todas las opciones de análisis derivadas del código, lo que permite documentar la tarea en la medida que se ejecuta.

Capacidades de estudio dentro del método FMEA

Una vez introducido o cargado el modelo de FMEA es posible aplicar varios niveles de profundidad al estudio de los resultados, lo que significa que al disminuir los valores de los filtros para NPR y S, el programa indaga más profundamente en riesgos de menor importancia. Las capacidades que distinguen a este método son:

- **Ordenar MF-causa:** Esta opción permite ordenar por NPR, en forma decreciente, las combinaciones de MF-causa que contiene la tabla de FMEA de la práctica. Además, posibilita desplegar opciones de estudio global como las que presentan, a nivel de subproceso, las cantidades de MF-causa con valores de NPR y S (iguales o mayores que los asignados como filtros durante la asignación del nivel de profundidad del análisis). También se asocian a esta opción indicadores especiales como los índices de severidad (ISev) y de calidad (IQ) de cada subproceso, deducidos a partir de los MF-causa del subproceso y sus NPR y S, correspondientes. La opción se completa con histogramas para representar, según el indicador seleccionado, la contribución de cada subproceso al riesgo.
- **Importancia Subproceso, Etapa, MF, Causa:** Un análisis en profundidad equivalente al estudio global de la práctica, anteriormente descrito, puede ejecutarse para los niveles descritos en esta opción, con el empleo de los indicadores NPR y S, iguales o mayores que los asignados como filtros, y los coeficientes ISev e IQ. Esta opción cuenta también con representación gráfica a nivel de histogramas.
- **Diagrama de Ishikawa:** El sistema permite opciones analíticas y gráficas a nivel de subproceso y etapa, las que ilustran, empleando el código de colores, los niveles de riesgo asociados a los MF y las causas. Ello se desarrolla en profundidad, primero como representación gráfica global de todo el proceso, después a nivel de subprocesos y finalmente, a nivel de etapas.
- **Árbol de fallo:** Visualiza, de manera arbórea, los contribuyentes a cada nivel jerárquico del estudio. Puede ser desplegado a nivel de subproceso (incluye subproceso- etapas-modos de fallos y causas), o a un nivel de resolución más alto, para incluir solo los últimos tres escalones.
- **Monitor de riesgo:** A partir del FMEA se elimina o potencia el efecto de MF-causas (al potenciar se incrementa un 10 % el valor del NPR correspondien-

te). El sistema cuenta con opciones especiales, que son aplicadas a nivel global, de subproceso, etapas o MF-causas específicos. Realizada la selección, para eliminación o potenciación, el sistema cuenta con todas las posibilidades de estudio anteriormente descritas e incluye la representación gráfica a nivel de histogramas comparativos, de los patrones modificados respecto a estudios previos de referencia y flujogramas o esquemas, en los que los MF-causas quedan representados con su nivel de riesgo empleando un código de colores.

- **Documentación total:** Cada paso del estudio, incluyendo el patrón original de partida, así como todos los análisis que se ejecutan son documentados a través de la edición de archivos de texto auxiliares, así como de mapas de proceso, histogramas y otros recursos gráficos que genera la herramienta.

Capacidades de estudio dentro de la base de datos reactiva

Las posibilidades de análisis con la BDI permiten:

- **Sinergia por SI y por causas:** A partir de estudios realizados por expertos en los patrones de riesgo prospectivos, contenidos entre los disponibles para SECURE-MR-FMEA, y de su comparación con los eventos registrados en la BDI, fueron elaborados archivos de interconexión, que facilitan los estudios del nivel de representación de los SI o de los MF en la base de datos reactiva. Estos análisis constituyen una validación de los modelos prospectivos disponibles.
- **Estudios propios por atributos:** La catalogación de la información por campos de acuerdo a la taxonomía de la base de datos y su disponibilidad en un formato estándar permite evaluar en la base de datos, la frecuencia de repetición de los campos, por ejemplo, tipo de práctica del registro, etapa de detección del evento, personal que detecta o informa, etapa afectada, etc. También posibilita la búsqueda de registros donde determinadas palabras claves se localicen. Esta capacidad es importante a la hora de estudiar la base de datos para identificar registros afines a la situación que se desea investigar.
- **Documentación general:** En cuanto a la documentación desde la BDI, pueden ser, entre otros, compendiados archivos completos de la BDI con toda su taxonomía, estudios de sinergia o perfiles gráficos como los obtenidos en estudios por atributos.

Capacidades para conversión entre formatos de estudios prospectivos

Las capacidades relativas a la integración de los métodos han sido aprovechadas para desarrollar conversores entre formatos de los métodos prospectivos. De esta forma, se han desarrollado posibilidades para conversión de FMEA a MR y viceversa.

Las posibilidades que se logran con estos conversores han demostrado su valía para compensar las desventajas de un método respecto a otro, por ejemplo, el FMEA no prevé explícitamente la postulación de las medidas de defensa en sus patrones, la evaluación de

su incorporación en la modificación del riesgo, ni una clasificación cronológica del efecto de las defensas en cada secuencia. Ello hace más recomendable a la MR para estas tareas. Por otra parte, la no disponibilidad de las causas en la MR, no permite estudios de clasificación de causas repetidas, lo que posibilita adoptar estrategias de defensa más genéricas.

Cada conversor tiene un algoritmo asociado, específico para la tarea. El algoritmo MR-FMEA ha sido abordado en publicaciones relativas a esta tarea específica [15].

La amplia disponibilidad de modelos de riesgo de prácticas médicas con radiaciones ionizantes en el formato FMEA [18-20] demuestra la preponderancia de este método respecto al de matriz de riesgo. Por ello, una forma de aprovechar dichas experiencias, consiste en contar con un sistema capaz de asimilar dichos modelos, además de aprovechar las ventajas de la MR, al realizar la conversión FMEA-MR.

El algoritmo seguido para realizar la conversión FMEA-MR se ejecuta en cuatro etapas:

- Adopción del mapa de procesos del estudio FMEA. Se parte del reconocimiento del mapa de procesos previo a la ejecución de la tabla de FMEA, y se considera que las tareas para una MR serán similares.
- Conversión de los MF en SI para la MR: Se descarta la tarea de agrupamiento de los MF, cuando la MR parte de un FMEA. Ello constituye una premisa para el estudio comparativo de resultados. La tarea de agrupamiento y determinación de importancia la realiza el método de cuantificación de la MR.
- Conversión de los valores de O y S de cada MF, respectivamente, a las magnitudes de F y C, para cada secuencia accidental, considerando una relación de conversión que contempla los rangos de partida del FMEA (subdivididos en tramos entre 1 y 10) y su equivalencia con las magnitudes cualitativas en la MR. Como cada MF puede tener más de una causa asociada, se adoptan como valores de O y S representativos, los más altos entre los agrupados para dicho MF.
- Obtención de las medidas de defensa. Pueden obtenerse por dos vías, de acuerdo a las condiciones de partida. Cuando se cuenta con un estudio acabado de riesgo por FMEA, como el caso de la IMRT según TG-100 [3], se pueden tomar las medidas sugeridas por el mismo. Después, estas se convierten al formato de las defensas, como lo postula la MR (descripción de la medida y robustez asociada) y se incorporan a las secuencias deducidas. Un segundo camino debe adoptarse cuando no existen medidas postuladas en el FMEA de partida. Para este caso, es necesario analizar detalladamente los MF y sus causas asociadas y deducir las medidas de defensa en el formato que la MR lo demanda.

Durante la aplicación de los algoritmos de conversión se obtienen, de manera automatizada, archivos intermedios que representan a cada uno de los pasos del algoritmo correspondiente. El trabajo se ha facilitado

tado al contar con un compendio estándar de causas de fallo codificadas por temática [15,17], para avanzar desde MR a FMEA y un sistema de asignación de medidas de defensa de acuerdo a causas contenidas en el modelo original, para desarrollar la conversión FMEA-MR.

Resultados y discusión

En la tabla 1 (parte superior) se listan los resultados obtenidos para los MF-causas más importantes según TG-100 [3] y, en la parte inferior se muestra un fragmento de tabla con los resultados según SECURE-MR-FMEA.

Como se aprecia, existe una correspondencia biunívoca de resultados para los FMEA desarrollados por ambas aproximaciones.

Otro ejemplo de coincidencia de resultados entre las aproximaciones, se aprecia en los mapas a nivel de un subproceso para sus diferentes etapas (ver figura 2).

También a nivel de árbol de fallos (figura 3) pueden apreciarse similitudes entre los resultados de TG-100 y SECURE-MR-FMEA.

Un resultado de la aplicación del conversor FMEA-MR se presenta en la conversión realizada para un MF importante de la IMRT según TG-100 [3]. En el ejemplo se aprecia como dicho MF se convierte en secuencia accidental. En este caso, se trata del modo de fallo más contribuyente del FMEA del TG-100, el que aparece documentado en la tabla 2.

Al seguir las reglas de equivalencias entre parámetros y medidas de defensa postuladas para la conversión FMEA-MR, se obtiene la secuencia accidental equivalente al modo de fallo anterior (figura 5).

Tabla 1. Comparación de MF ordenados por su NPR entre TG-100 y SECURE-MR-FMEA

Rank (process tree step#)	Subprocess #_description	Step description	Potential failure modes	Potential causes of failure	Potential effects of failure	Avg. O	Avg. S	Avg. D	Avg. RPN
1(#31)	4-Other pretreatment imagining for CTV localization	6-Images correctly interpreted (e.g., windowing for FDG PET)	Incorrect interpretation of tumor or normal tissue	Inadequate training (user not familiar with modality), lack of communication (interdisciplinary)	Wrong volume	6.5	7.4	8.0	388
2(#58)	7-RTP anatomy	Delineate GTV/CTV (MD) and other structure for planning and optimization	1->3*sigma error contouring errors: wrong organ, wrong site, wrong expansions	Lack of standardized procedures, hardware failure (defective materials/tools/equipment), inadequate design specification, inadequate programming, human failure (inadequate assessment of operational capabilities), human failure (inattention), human failure (failure to review work), lack of staff (rushed process, lack of time, fatigue)	Very wrong dose distributions, very wrong volumes	5,3	8,4	7,9	366
3(#204)	12-Day N treatment	Treatment delivered	LINAC hardware failures/wrong dose per MU: MLC leaf motions inaccurate, flatness/symmetry, energy-all the things that standards physical QA is meant to prevent	Poor design (hardware, inadequate maintenance, software failure, lack of standardized procedures (weak physics OA process), human failure (incorrectly used procedure/practice, (standard Linac performance QM failure (not further considered here) inadequate training	Wrong dose, wrong dose distributions, wrong location, wrong volume	5,4	8,2	7,2	354
4(#48)	6-Initial treatment planning directive (from MD)	Retreatment, previous treatment, brachy etc	Wrong summary of other treatments. Other treatments not documented	Lack of staff (rushed process, lack of time, fatigue), human failure (inattention), lack of communication, human failure (reconstructing previous treatment), human failure (wrong info obtained), information not available	Wrong dose	5,3	8,6	7,3	333

No.	Subproceso	Etapas	Modo de falla	Causa	Sev	NPR
1	4 - Other pre-treatment imaging for CTV localization	6. Images incorrectly interpreted (e.g. windowing for FDG PET)	(#31)Incorrect interpretation of tumor or normal tissue.	6.1, 6.4 (User not familiar with modality or inadequately trained) 1.2, 5,3 (Poor interdisciplinary communication)	7.44	387.8
2	7 - RTP Anatomy	Delineate GTV/CTV (MD) and other structures for planning and optimization	(#58)1. >3*sigma error contouring errors: wrong organ, wrongsite, wrong expansions	1 Procedure failures2.1 – 2.3 Equipment availability or effectiveness2.5-2.6 User error3.2 Design3.5 – 3.6 Assessment or programming6.1 Inadequate training Inattention, lack of time, failure to review own work	8.43	366.0
3	12 - Day Treatment	Treatment delivered	(#209)LINAC hardware failures/wrong dose per MU; MLC leaf motions inaccurate, flatness/symmetry, energy – all the things that standard physical QA is meant to prevent.	1.2. Inadequate department policy (weak physics QA process)3.2. Poor hardware design2.3. Poor hardware maintenance6.1. Poorly trained personnel	8.22	354.0
4	6 - Initial Treatment Planning Directive (from MD)	Retreatment, previous treatment, Brachy etc	(#48)Wrong summary of other treatments. Other treatments not documented.	4.3, 8. (Lack of time or attention to detail.)5.4 (Miscommunication or poor documentation)6.1, 8.6 (User error in reconstructing previous treatment)2.1, 2.2 (Wrong info obtained or Information not available)	8.56	332.7

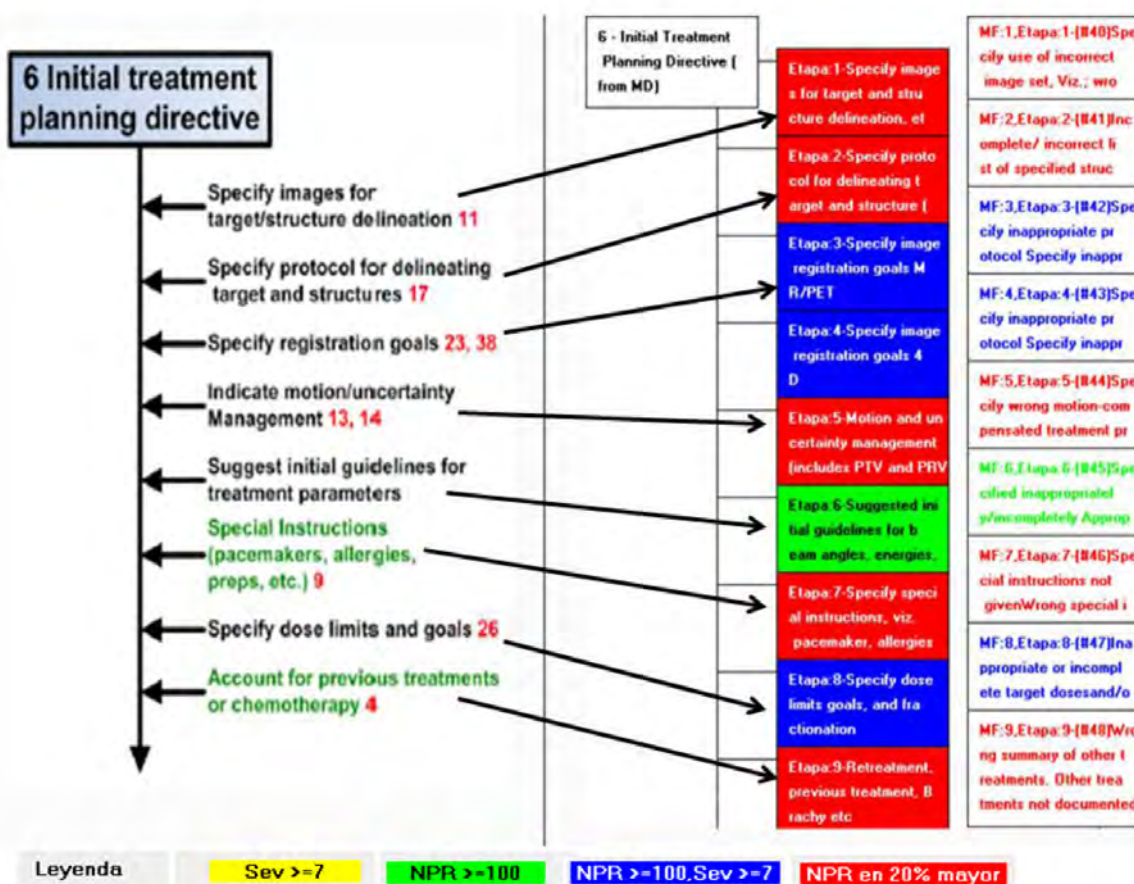


Figura 2. Coincidencia de valoración de importancia de modos de fallos según TG-100 (izquierda) y SECURE (derecha)

Los colores muestran las nuevas magnitudes de los parámetros, cuando se aplican las medidas de defensa. Como se aprecia, un riesgo alto con niveles de NPR máximos según FMEA (tabla 2), pasa a niveles de riesgo medio en MR cuando se incorporan las medidas de defensa.

Con la aplicación de la variante de cálculo de riesgo para MR, correspondiente a la tercera opción de SECURE-MR-FMEA, al patrón de riesgo obtenido para la IMRT (IMRT100-FIN.MAZ, IMRT100-FIN.SIS, IMRT100-FIN.TXT), se obtiene la tabla 3 y el histograma de la figura 6.

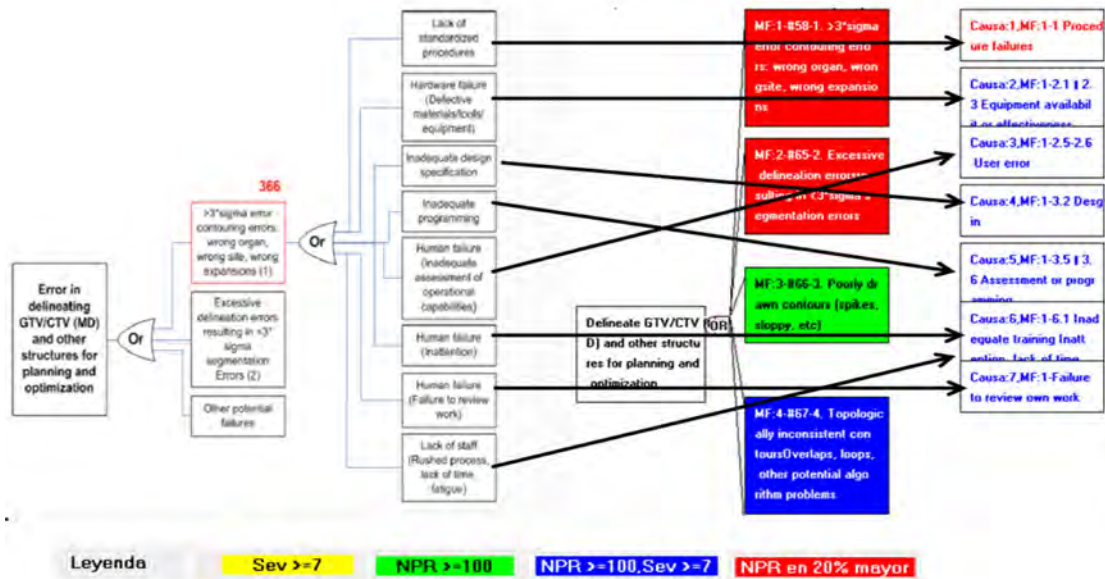


Figura 3. Comparación de árbol de fallas de causas para un modo de falla muy contribuyente entre TG-100 (izquierda) y SECURE (derecha)

Asimismo, se aprecian coincidencias entre el diagrama de Ishikawa presentado por TG-100 [3] y el ilustrado a través de SECURE-MR-FMEA (figura 4).

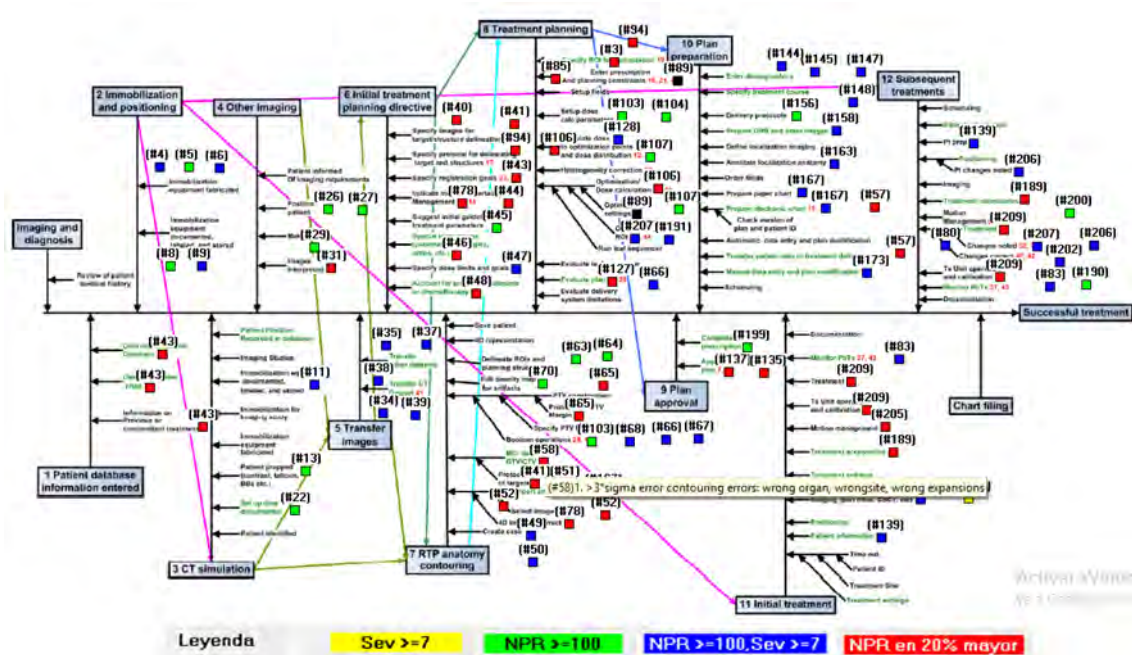


Figura 4. Diagrama de Ishikawa animado con los MF más importantes.

Tabla 2 - MF #31 - Incorrect interpretation of tumor or normal tissue

No.	Subproceso	Etap	Modo de falla	Causa	Sev	NPR	Defensas deducidas
1	4 - Other pretreatment imaging for CTV localization	6. Images correctly interpreted (e.g. windowing for FDG PET)	(#31) Incorrect interpretation of tumor or normal tissue.	6.1, 6.4 (User not familiar with modality or inadequately trained) 1.2, 5,3 (Poor inter-disciplinary communication)	7.44	387.8	Peer review between physician and medical physicist Physician training for interpretation of diagnostic imaging studies. Use of Clinical procedures (checklist) Interdepartmental communication between the radiologist and the radiation oncologist

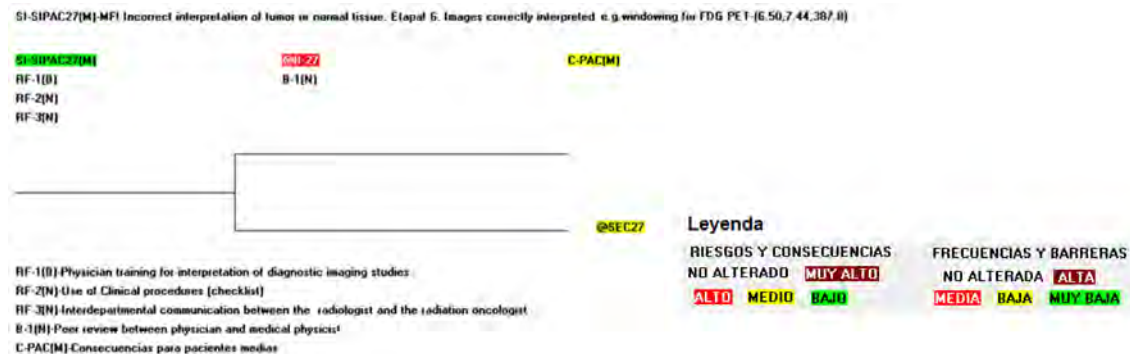


Figura 5. Secuencia accidental equivalente a MF #31

Tabla 3 - Distribución de riesgos por subproceso

Etapa	RMA	RA	RM	RB	Total por etapa
Proceso(PRO)					
1- Patient Database Information(SP1)	0	0	1	1	2
2- Immobilization and Positioning(SP2)	0	0	5	1	6
3 - CT/simulation(SP3)	0	2	8	2	12
4 - Other pretreatment imaging for CTV localization(SP4)	0	0	7	0	7
5 - Transfer images and other DICOM Data(SP5)	0	3	4	0	7
6 - Initial Treatment Planning Directive from MD(SP6)	0	2	5	1	8
7 - RTP Anatomy(SP7)	0	1	19	10	30
8 - Treatment Planning(SP8)	0	4	17	19	40
9 - Plan Approval(SP9)	0	2	4	2	8
10 - Plan Preparation(S10)	0	8	7	1	16
11 - Day 1 Treatment(S11)	0	1	11	4	16
12 - Day N Treatment(S12)	0	1	9	12	22
Proceso	0	24	97	53	174

Los niveles de riesgos determinados corresponden a riesgos muy altos (RMA), altos (RA), medios (RM) y bajos (RB). Los RA están distribuidos en varios subprocesos, siendo los más contribuyentes los de Plan Preparation (S10) y Treatment Planning (SP8). Una información de niveles de riesgo y gravedad de consecuencias se aprecia en el histograma de la figura 6.

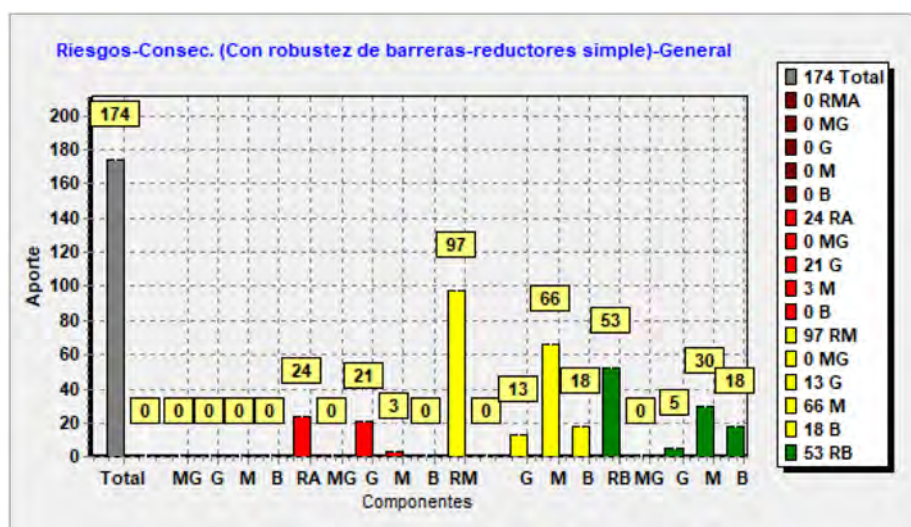


Figura 6. Perfil de riesgo para MR de IMRT según TG-100.

Como se observa en el estudio, no se obtienen riesgos muy altos, sin embargo se determinan 21 riesgos altos con consecuencias graves. Un fragmento de estos riesgos se presenta en la tabla 4.

Una ventaja clara del empleo de métodos combinados es la detección temprana de las deficiencias de las medidas de defensa establecidas. Por ejemplo, la SEC167 corresponde a uno de los MF más importantes

Tabla 4 - MF #31 -Muestra de secuencias con riesgos altos para MR de IMRT.

No	Sec{SI}	Riesgo	Consec.	Proceso	
1	SEC13{SI-PAC13(M)}	A	C-PAC(A)	SP3	MF! Simulation attributes not correctly documented. Etapa! Documentation of unusual simulation attributes (in print or software), e.g., Unusual patient positioning (prone or feet-first) or patient preparation needs (e.g. simulated with full bladder so need to treat with full bladder”) Sev! Very wrong location Wrong dose(4.22,8.33,168.8)
2	SEC14{SI-PAC14(B)}	A	C-PAC(A)	SP3	MF! Unusual patient position not handled by image transfer software., e.g., L and R labels exchanged Etapa! Patient position properly represented by image-transfer software Sev! Very wrong location Wrong dose(3.11,8.78,136.1)
3	SEC167{SI-PAC167(M)}	A	C-PAC(A)	S12	MF! LINAC hardware failures/wrong dose per MU; MLC leaf motions inaccurate, flatness/symmetry, energy – all the things that standard physical QA is meant to prevent. Etapa! Treatment delivered Sev! Wrong dose Wrong dose distributionWrong location Wrong volume(5.44,8.22,354.0)

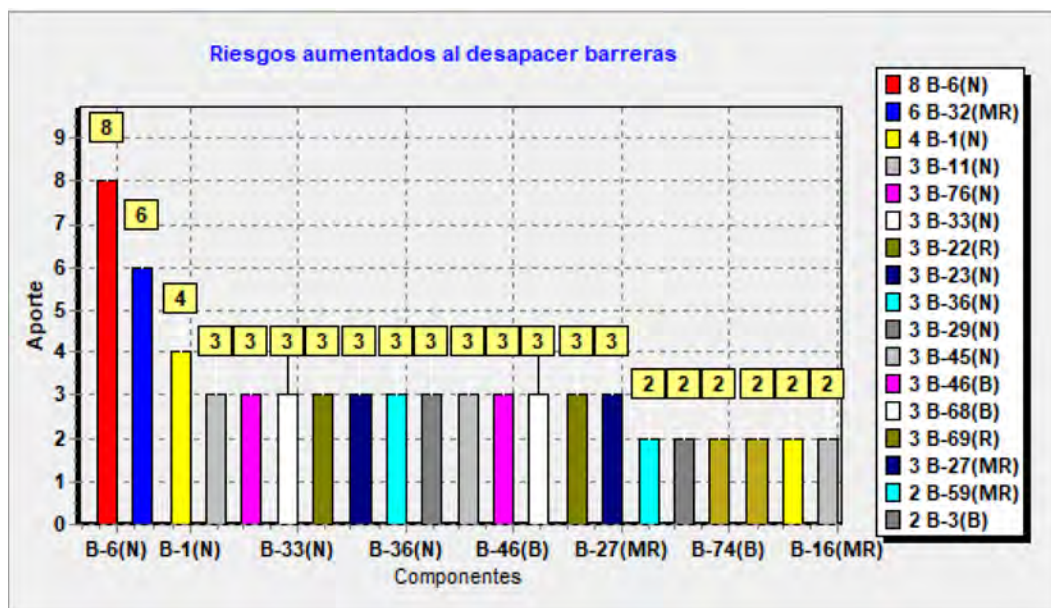


Figura 7. Riesgos aumentados al desaparecer barreras para MR de IMRT.

del FMEA de la IMRT (#204). Ello demuestra como, las medidas postuladas en TG-100 no están compensando los altos riesgos, lo que se confirma por el método MR. Igual deducción puede aplicarse a los restantes MF que corresponden a riesgos altos.

Un ejemplo de estudio de importancia para la opción de riesgos aumentados al desaparecer barreras, se muestra en la figura 7.

Como se observa, resultan muy importantes las barreras:

- B-6- The standardized site-specific treatment protocol and physics plan check -Example Checklists 1 in table IV and 3 in table VI
- B-1- Peer review between physician and medical physicist

De la misma manera, se pueden ilustrar, para similar medida de importancia, los ordenamientos de RF. En este caso, el reductor de frecuencia RF-6 es el más importante, y corresponde a “Adequate time and resources for the medical staff to achieve its misión”.

Para ilustrar las capacidades del sistema como monitor de riesgo, se han eliminado sobre el modelo original las medidas de defensa más importantes (B-6 y RF-6). Ello equivale a que en la práctica estudiada no

existen, o se han inhabilitado, estas defensas. El resultado se ha ilustrado a través de un histograma comparativo en la figura 8.

Se aprecia que el efecto sobre la distribución de riesgos en el modelo modificado es el incremento de los riesgos medios (106) respecto a los del patrón original (97). Los detalles del nuevo modelo pueden ser estudiados a través de las capacidades anteriormente descritas del sistema.

Como una confirmación de la validez del modelo prospectivo (IMRT100.MAZ, IMRT100.SIS, IMRT100.TXT), de acuerdo a experiencias recogidas en la base reactiva (IMRT100.BDI, IMRT100.MCH) propia de SECURE-MR-FMEA, se ha obtenido el histograma de sinergia a nivel de SI, mostrado en la figura 9.

Como se aprecia el SI-PAC29 corresponde a uno de los más representados en la BDI, ya que está soportado por 10 evidencias. Este SI está particularmente respaldado con un registro numerado como 1279 de SAFRON [10], el cual constituyó una situación discutida en el Congreso de los EEUU, por su gran relevancia pública. El evento ocurrió durante una sesión de la práctica IMRT y significó la muerte del paciente por sobreexposición durante el tratamiento de un tumor sublingual.

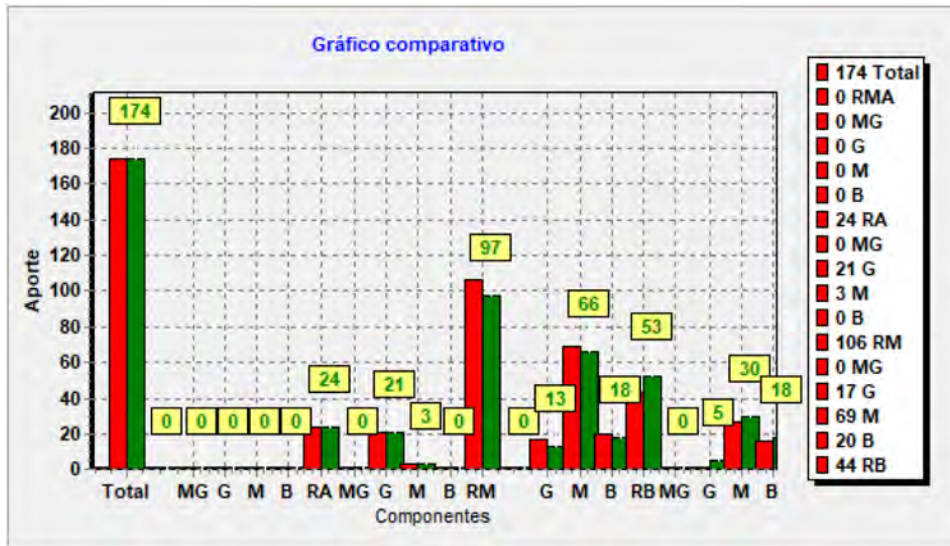


Figura 8. Histograma comparativo de riesgos para diferentes configuraciones de defensas en la IMRT del TG-100.

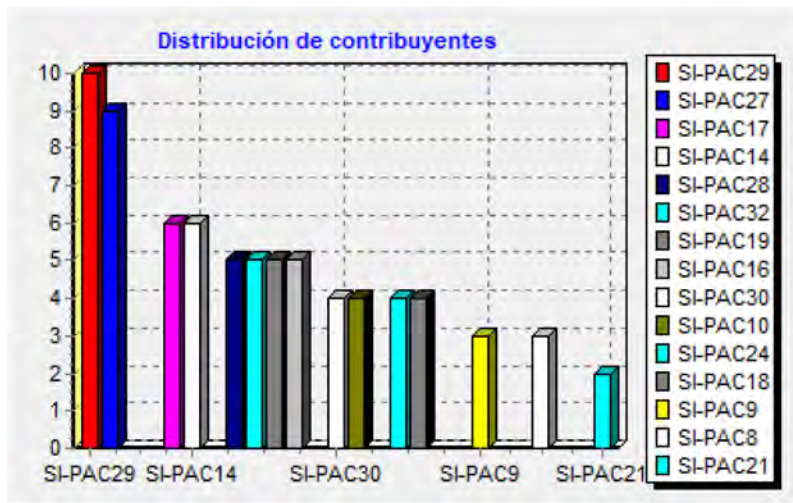


Figura 9. Ilustración de sinergia entre MR de IMRT y BDI.

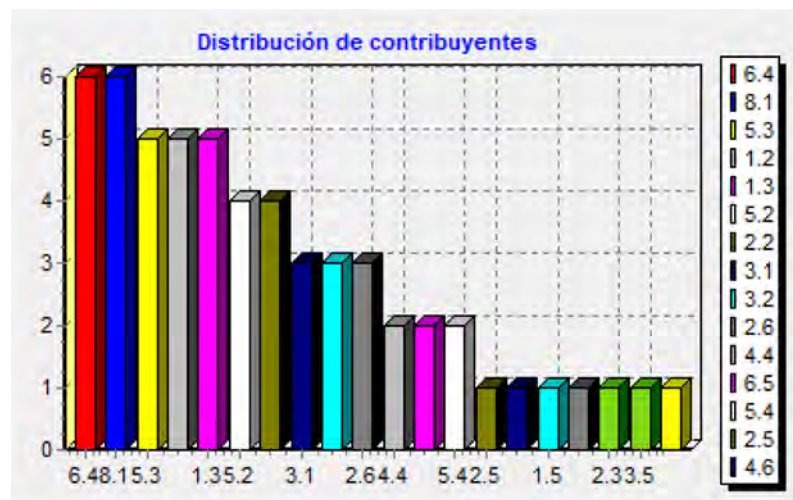


Figura 10. Sinergia a nivel de causas para MR de IMRT.

Una sinergia especial, a nivel de causa, puede apreciarse en el histograma presentado en la figura 10.

Las causas 6.4 y 8.1 son las más representadas entre las que conllevan a iniciadores para el modelo de la IMRT del TG-100. Estas causas corresponden a los grupos destacados en letra cursiva (se describen según los textos encerrados entre paréntesis):

- 6.1- Desarrollo de habilidades y conocimientos. (Falla a reconocer el peligro).
- 8.4- Trabajado Percepción. (Fatiga del personal)

El código SECURE-MR-FMEA ha sido empleado para el diseño de patrones de riesgo y el estudio de otras prácticas como: la radioterapia estereotáctica, la radioterapia superficial, la producción de radiofármacos

en generadores Mo-Tc, la producción de radioisótopos en CENTIS y en el Ciclotrón, la medicina nuclear convencional y paciente específica, así como el transporte de materiales radiactivos.

Limitaciones del método propuesto

El código SECURE-MR-FMEA ha sido difundido en las entidades y clientes a través de un instalador que permite colocar el sistema en las PC de los usuarios en modo in situ o remoto. Ambas variantes garantizan el empleo del sistema pero en modo independiente para cada usuario. Las bases de datos de MR, FMEA y BDI, correspondientes a las prácticas de interés para cada caso, quedan disponibles en las computadoras de los usuarios. El sistema queda protegido contra copias piratas y para su difusión necesita de instalación.

Las dificultades inherentes a este formato de trabajo quedan resueltas con el acoplamiento, actualmente en desarrollo, del código SECURE-MR-FMEA con el programa Tool Kit for Safety Assessment (TOKSA), con el cual el acceso al sistema y a sus bases de datos se realizará vía Internet.

Conclusiones

SECURE-MR-FMEA es un sistema multipropósito para estudio integral de riesgo de prácticas con radiaciones ionizantes. En el sistema se combinan capacidades de métodos prospectivos y reactivos, actualmente disponibles para estas prácticas, así como un importante abanico de posibilidades derivadas de su acoplamiento. Su versatilidad ha permitido la adaptación a prácticas médicas e industriales.

Cuenta con una interfaz amigable para el desarrollo de estudios de riesgo soportados en un ambiente analítico y gráfico que satisface las exigencias de los órganos reguladores así como, las variadas aplicaciones de optimización que pueden ser desarrolladas en las entidades poseedoras de las prácticas objeto de análisis.

Sus capacidades facilitan la asimilación de los estudios de riesgo, ya realizados por otros expertos o grupos de análisis, para el perfeccionamiento o realización de los propios.

Referencias bibliográficas

- [1]. BARTELL, R., WASH-1400 The Reactor Safety Study The Introduction of Risk Assessment to the Regulation of Nuclear Reactors, 2016, NUREG/KM-0010, <https://www.nrc.gov/docs/ML1622/ML16225A002.pdf>
- [2]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Aplicación del método de la matriz de riesgo a la radioterapia. IAEA-TECDOC 1685 Series. Viena: IAEA, 2012.
- [3]. SAIFUL HUQ M, FRAASS BA, DUNSCOMBE PB, GIBBONS JP, et. al. The report of Task Group 100 of the AAPM: application of risk analysis methods to radiation therapy quality management. *Med. Phys.* 2016; 43(7): 4209-4262. <http://dx.doi.org/10.1118/1.4947547.2>
- [4]. Organización Internacional de Normalización (ISO). Sistema de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario. ISO 9001:2015. 2015 <https://toy certification.org/wp-content/uploads/2020/05/norma-iso-9000.pdf>

- [5]. Organización Internacional de Normalización (ISO). Gestión del riesgo. Técnicas de evaluación de riesgos. ISO 31010. ISO, 2009. <https://www.isotools.org/normas/riesgos-y-seguridad/iso-31000/>
- [6]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation. Safety Standards Series SSG-46. Vienna: IAEA, 2018
- [7]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades, Requisitos de Seguridad Generales, Parte 4, Normas de Seguridad para la protección de las personas y el medio ambiente. 2010
- [8]. International Atomic Energy Agency (IAEA)/World Health Organization (WHO). Bonn call for action: 10 actions to improve radiation protection in medicine in the next decade. Vienna: IAEA, 2012.
- [9]. Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA). Principios Básicos de seguridad para centrales nucleares. 75-INSAG-3. Viena: OIEA, 1991.
- [10]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Safety in Radiation Oncology, SAFRON. [accessed date: February 21, 2017]. Available in: <https://rpop.iaea.org/SAFRON/Default.asp>.
- [11]. TORRES VALLE A, RIVERO OLIVA J, MONTES DE OCA QUIÑONES J, MARTÍ VILLARREAL O, et. al. Monitoreo dinámico de riesgo empleando matriz de riesgo en prácticas médicas con radiaciones ionizantes. *Nucleus.* 2016; (59): 29-33. http://www.cubaenergia.cu/index.php/es/publicaciones/doc_download/v1156-n59-2016
- [12]. VILARAGUT JJ, FERRO R, RODRÍGUEZ M, et. al. Análisis probabilista de seguridad (APS) del proceso de tratamiento de radioterapia con un acelerador lineal de usos médicos. Memorias del Congreso de la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA). Buenos Aires, 2008.
- [13]. LÓPEZ R., PAZ AB, RAMÍREZ F, DUMÉNIGO C, et. al. Sinergia SEVRRRA-SAFRON. Herramientas para la prevención de accidentes en radioterapia. 2015. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:48078460
- [14]. TORRES A, MONTES DE OCA J. Nuevo algoritmo para análisis de riesgo en radioterapia. *Nucleus.* 2015; (58): 39-46. http://www.cubaenergia.cu/index.php/es/publicaciones/cat_view/14-publicaciones/15-nucleus
- [15]. AMADOR BALBONA ZH, TORRES VALLE A. Conversión de matriz de riesgo a análisis de modos y efectos de fallos *Revista Salud y Trabajo.* 2019; 20(2): 3-10. <http://www.revsaludtrabajo.sld.cu/index.php/revsyt/article/view/84>
- [16]. AMADOR BALBONA ZH, TORRES VALLE A. Uso del Código SECURE-MR-FMEA para el Análisis de Riesgo Radiológico en Medicina Nuclear Terapéutica Convencional. *J. Health Med. Sci.* 2018; 4(3): 173-181. <http://www.johamsc.com/manuscrito-uso-del-codigo-num3/>
- [17]. AMADOR BALBONA ZH, TORRES VALLE A, ARIAS M. Acoplamiento de métodos prospectivos y reactivos para análisis de riesgo en medicina con radiaciones ionizantes. *Nucleus.* 2020; (67): 33-38. <http://scielo.sld.cu/pdf/nuc/n67/2075-5635-nuc-67-33.pdf>.
- [18]. SCHULLER BW, BURNS W, CEILLEY E.A., et. al. Failure mode and effects analysis: A community practice perspective, *J Appl Clin Med Phys.* 2017; 18: 6: 258-267. doi: 10.1002/acm2.12190.
- [19]. YUANGUANG XU A., BHATNAGAR J, BEDNARZ G., et. al. Failure modes and effects analysis (FMEA) for Gamma Knife radiosurgery. *J Appl Clin Med Phys* 2017; 18: 6: 152-168. doi: 10.1002/acm2.12205.
- [20]. TEIXEIRA FC, DE ALMEIDA CE, SAIFUL HUQ M. Failure mode and effects analysis based risk profile assessment for stereotactic radiosurgery programs at three cancer centers in Brazil, *Med. Phys.* 2016; 43 (1) <http://dx.doi.org/10.1118/1.4938065>.

Recibido: 7 de julio de 2021

Aceptado: 21 de julio de 2021

Revistas certificadas

como Publicaciones Seriadadas Científico–Tecnológicas

2020

Cuba & Caña.....	AZCUBA
Anuario del Centro de Estudios Martianos	CE
Acta Botánica Cubana	CITMA
Anuario L/L. Estudios Lingüísticos	CITMA
Anuario L/L. Estudios Literarios	CITMA
Avances.....	CITMA
Avanzada Científica	CITMA
Biotecnología Aplicada	CITMA
Boletín Científico Técnico INIMET	CITMA
Boletín del Archivo Nacional	CITMA
Ciencia en su PC.....	CITMA
Ciencias de la Información.....	CITMA
Ciencias de la Tierra y el Espacio	CITMA
Ciencias Holguín.....	CITMA
Cubazoo	CITMA
Granma Ciencia	CITMA
Hombre, Ciencia y Tecnología	CITMA
Infociencia.....	CITMA
Innovación Tecnológica	CITMA
Isla, Ciencia y Tecnología	CITMA
Memorias de Geoinfo.....	CITMA
Normalización.....	CITMA
Nucleus	CITMA
Revista Cubana de Ciencias Sociales	CITMA
Revista Cubana de Filosofía	CITMA
Revista Cubana de Meteorología.....	CITMA
Serie Oceanológica.....	CITMA
Temas de Economía Mundial	CITMA
VacciMonitor.....	CITMA
Cuba: Investigación Económica.....	MEP
Arquitectura y Urbanismo.....	MES
Centro Agrícola	MES
Cuban Journal of Agricultural Science.....	MES
Cultivos Tropicales	MES
Ingeniería Energética	MES
Ingeniería Industrial	MES
Investigación Operacional	MES
Islas	MES

Revistas certificadas

Minería y Geología	MES	Revista Forestal Baracoa.....	MINAG
Novedades en Población	MES	Investigaciones Medicoquirúrgicas	MINAG
Pastos y Forrajes	MES	Ciencia y Tecnología de Alimentos.....	MINAL
Pedagogía Universitaria	MES	Cubaenvases	MINAL
Retos Turísticos	MES	Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras	MINAL
Revista CENIC Ciencias Biológicas	MES	ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar	MINAZ
Revista CENIC Ciencias Químicas	MES	INFOMIN	MINBAS
Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias	MES	Anuario de Investigaciones Culturales.....	MINCULT
Revista Cubana de Ciencia Agrícola	MES	Bibliotecas.....	MINCULT
Revista Cubana de Educación Superior	MES	Catauro.....	MINCULT
Revista Cubana de Química	MES	Clave	MINCULT
Ingeniería Mecánica	MES	Siga La Marcha.....	MINCULT
Revista de Protección Vegetal	MES	Temas.....	MINCULT
Revista de Salud Animal	MES	Órbita Científica	MINED
Revista del Jardín Botánico Nacional	MES	Varona	MINED
Santiago	MES	Pedagogía Profesional	MINED
Tecnología Química	MES	Revista IPLAC	MINED
Universidad de La Habana	MES	Luz	MINED
Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones ...	MES	Transformación.....	MINED
Universidad y Sociedad.....	MES	Maestro y Sociedad	MINED
Centro Azúcar	MES	Pedagogía y Sociedad.....	MINED
Ingeniería Hidráulica y Ambiental	MES	Revista Cubana de Medicina Militar	MINFAR
Biología Vegetal	MES	Investigaciones Medicoquirúrgicas	MININT
Economía y Desarrollo	MES	Anuario del Centro de Investigaciones Jurídicas	MINJUS
Cofin Habana	MES	ACIMED	MINSAP
Anuario de la Facultad de Ciencias Económicas		Acta Médica del Centro.....	MINSAP
y Empresariales	MES	Anuario Científico CECMED	MINSAP
Revista de Producción Animal	MES	Archivo Médico de Camagüey.....	MINSAP
Retos de la Dirección	MES	Correo Científico Médico.....	MINSAP
Revista Cubana de Ingeniería	MES	Educación Médica Superior.....	MINSAP
Congreso Universidad.....	MES	Folia Dermatológica Cubana	MINSAP
Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias	MES	Gaceta Médica.....	MINSAP
Estudios de Desarrollo social: Cuba y América Latina.....	MES	Humanidades Médicas.....	MINSAP
Revista de Arquitectura e Ingeniería.....	MICONS	Medi Ciego	MINSAP
Agrotecnia de Cuba	MINAG	Medicentro Electrónica	MINSAP
Café Cacao	MINAG	Medisan.....	MINSAP
Ciencia y Tecnología Ganadera.....	MINAG	MEDISUR	MINSAP
Citrifrut	MINAG	Panorama. Cuba y Salud	MINSAP
Fitosanidad.....	MINAG	Revista del Hospital Psiquiátrico de La Habana	MINSAP
Revista Computarizada de Producción Porcina.....	MINAG	Revista Cubana de Farmacia.....	MINSAP
Revista Cubana de Ciencia Avícola	MINAG	Revista Cubana de Anestesiología	
Revista Cubana del Arroz	MINAG	y Reanimación	MINSAP

Revista Cubana de Angiología y Cirugía Vascolar.....	MINSAP	Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación	MINSAP
Revista Cubana de Cirugía	MINSAP	Acuacuba	MIP
Revista Cubana de Endocrinología	MINSAP	Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente	MITRANS
Revista Cubana de Enfermería	MINSAP	Estudio	UJC
Revista Cubana de Estomatología	MINSAP		
Revista Cubana de Genética Comunitaria	MINSAP		
Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Medicina Transfusional.....	MINSAP		
Revista Cubana de Higiene y Epidemiología	MINSAP		
Revista Cubana de Informática Médica	MINSAP		
Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas	MINSAP		
Revista Cubana de Medicina.....	MINSAP		
Revista Cubana de Medicina General Integral.....	MINSAP		
Revista Cubana de Medicina Tropical	MINSAP		
Revista Cubana de Obstetricia y Ginecología	MINSAP		
Revista Cubana de Oftalmología.....	MINSAP		
Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología.....	MINSAP		
Revista Cubana de Pediatría	MINSAP		
Revista Cubana de Plantas Medicinales	MINSAP		
Revista Cubana de Reumatología.....	MINSAP		
Revista Cubana de Salud Pública	MINSAP		
Revista Cubana de Salud y Trabajo.....	MINSAP		
Revista de Ciencias Médicas de La Habana.....	MINSAP		
Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río.....	MINSAP		
Revista de Información Científica	MINSAP		
Revista Electrónica “Dr. Zoilo E. Marinello Vidaurreta”	MINSAP		
Revista Habanera de Ciencias Médicas	MINSAP		
Revista Médica Electrónica	MINSAP		
Revista Cubana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular	MINSAP		
Finlay.....	MINSAP		
Edumecentro	MINSAP		
CorSalud.....	MINSAP		
Revista Cubana de Ciencias Informáticas	MINSAP		
Multimed	MINSAP		
Revista Cubana de Alimentación y Nutrición.....	MINSAP		
Revista Cubana de Neurología y Neurocirugía	MINSAP		

Instrucciones a los AUTORES para publicar en nucleus

Para la redacción de los manuscritos a publicar en las secciones de **Ciencias Nucleares e Innovación Tecnológica**

- Los artículos originales deben tener una extensión máxima de 10 cuartillas (a una columna) incluidas tablas (un máximo de 5) e ilustraciones (un máximo de 5). Se enviarán por correo electrónico, en Word y en Arial 12 a 1,5 espacios, o entregar en la propia redacción de la revista en soporte electrónico. El total de líneas por páginas es 30 como máximo.
- Los artículos tendrán el siguiente orden: Resumen (español e inglés), Introducción, Materiales y métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones, Recomendaciones (opcional), Agradecimientos (opcional), Referencias bibliográficas. Estas secciones deben estar bien definidas, aunque no necesariamente con subtítulos. No se escribirá punto al final de los subtítulos de las diferentes secciones.
- Cada trabajo deberá acompañarse de una carta firmada por el autor correspondiente, en la que se confirme que dicho trabajo no se ha enviado a otra publicación con anterioridad, que se ha aprobado por todos sus autores para su publicación tal y como se presenta y que los autores cumplen los requisitos de autoría.
- Los artículos están sujetos a arbitraje y a la aprobación del Consejo Editorial.
- Las contribuciones a la Revista se divulgan sin costo alguno para los autores. Una vez aceptados para su aprobación, los derechos de reproducción (copyright) son propiedad de la casa editorial.

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

Título: No debe exceder de 120 letras, o 20 palabras, ni contener abreviaturas, fórmulas químicas, ni nombres patentados (en lugar de genéricos). Como caso excepcional se aceptará la inclusión de siglas de uso común y generalizado en la literatura científico-técnica internacional. El título debe aparecer en español e inglés.

Resumen: No debe exceder de 250 palabras, ni contener siglas, abreviaturas ni referencias bibliográficas. Como caso excepcional se aceptará la inclusión de siglas de uso común y generalizado en la literatura científico-técnica internacional. Debe indicar los objetivos principales y alcance de la investigación, describir los métodos empleados, resumir los resultados y enunciar las conclusiones principales. Debe aparecer escrito en estilo impersonal, en pretérito, en español e inglés.

Se reflejará el contenido del documento a partir de 3 a 10 palabras claves al pie del resumen y en orden de importancia. Se escribirán en español, al pie del resumen en español y en inglés, al pie del resumen en idioma inglés. Por su parte el INIS insertará los descriptores correspondientes a la indización de cada trabajo.

Introducción: Exponer con toda la claridad posible, la naturaleza y alcance de la investigación, revisar las publicaciones pertinentes, indicar el método de investigación si se estima necesario, mencionar los principales resultados de la investigación y expresar la conclusión o conclusiones principales sugeridas por los resultados.

Materiales y métodos: La mayor parte de esta sección se debe escribir en pasado y dar toda clase de detalles. La finalidad principal es describir y que los resultados sean reproducibles. En los materiales hay que incluir las especificaciones técnicas y las cantidades exactas, así como la procedencia o el método de preparación. Se deben emplear los nombres genéricos o químicos.

Resultados: Se debe hacer una descripción amplia, clara y sencilla de los experimentos, ofreciendo un panorama general pero sin repetir los detalles experimentales de los Materiales y Métodos. Se deben presentar los datos más representativos. La exposición se debe redactar en pretérito.

Discusión: Se deben presentar de forma expositiva los principios, relaciones y generalizaciones que los Resultados indican. Se deben señalar las excepciones o las faltas de correlación y delimitar los aspectos no resueltos. Mostrar cómo concuerdan (o no) los resultados e interpretaciones con los trabajos anteriormente publicados. Se deben exponer las consecuencias teóricas del trabajo y sus posibles aplicaciones prácticas. Resuma las pruebas que respaldan cada conclusión. Los tiempos verbales oscilarán entre el presente y el pasado.

Conclusiones: Se deben formular de forma clara y ordenada. No deberán incluir referencias bibliográficas.

Recomendaciones (opcional): Se deberá cuidar de reflejar solamente aquellas que consideren opciones para lograr un mayor desarrollo en la temática reflejada en el artículo y que resulten factibles de ejecutar.

Agradecimientos (opcional): Se debe agradecer cualquier ayuda científico-técnica importante recibida de cualquier persona que haya colaborado en el desarrollo del trabajo. Entre otros aportes se pueden considerar la provisión de equipos, materiales especiales, así como la participación significativa en la revisión y presentación del artículo.

Referencias bibliográficas: Todos los documentos consultados se hacen constar al final del trabajo bajo el epígrafe Referencias bibliográficas. No se usan notas al pie de página. Se deben enumerar solo obras importantes y publicadas e incluir, de forma priorizada, trabajos de publicación reciente. Los trabajos originales no sobrepasarán las 20 citas; las revisiones, de 25 a 50. Se deben cotejar todas las partes de cada referencia contra la publicación original antes de presentar el artículo. Las referencias se deben enumerar en el texto con números arábigos, entre corchetes, en el lugar en

que se apliquen y siguiendo un orden de aparición consecutivo. Las referencias, con todos los datos requeridos (apellido, nombre del autor (es), título del trabajo, título de la publicación, año; volumen, número de la publicación, página inicial–página final), se incluirán después de las Conclusiones, o de los Agradecimientos, en caso de existir estos últimos. Si tiene 5 o más autores, se mencionarán los 4 primeros, seguidos de «et al.». Los títulos de las publicaciones periódicas se deben adecuar al sistema INIS (véase IAEA–INIS–11).

A continuación, a modo de ejemplo, se presentan dos referencias de trabajos en publicaciones periódicas:

[12] HILLEGONDS DJ, FRANKLIN S, SHELTON DK, VIJAYAKUMAR S, VIJAYAKUMAR V. The Management of Painful Bone Metastases with an Emphasis on Radionuclide Therapy. *J. Natl. Med. Assoc.* 2007; (99): 785–794.

[24] SRIVASTAVA SC. Treatment of joint and bone pain with electron emitting radiopharmaceuticals. *Indian J. Nucl. Med.* 2004; 19(3): 89–97.

Las referencias a trabajos publicados en Memorias de un evento deberán incluir la siguiente información: apellido, nombre del autor (es), título del trabajo; memorias de que evento (su denominación en el idioma original o transliteración en caso de idioma con alfabeto distinto al latino), lugar y fecha de la realización del mismo, así como entidad organizadora del evento y fecha de la publicación. A continuación se ofrecen referencias, a modo de ejemplo:

[13] WHITE JR, CHAPMAN DM, BISWAS D. Fuel Management Optimization Based on Generalized Perturbation Theory. *Proceedings of the Conference on Advances in fuel Management.* Toronto, Canada, June 9–12 1986. Canadian Nuclear Society. 1986.

[4] DI GEORGIO M. Respuesta multidisciplinaria desarrollada en Argentina ante un suceso radiológico. VIII Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear. I Congreso Latinoamericano del IRPA. V Congreso Nacional de Protección Radiológica. 11 al 15 de octubre 2010. Medellín, Colombia. 2010.

Las referencias a trabajos de revistas en Internet deben incluir: Los autores (4 como máximo, et al). Título del artículo. Abreviatura de la revista. Año ; Volumen (número): páginas. Disponible en: URL del artículo. A modo de ejemplo:

[17] GUPTA M, CHOUDHURY PS. Systemic radionuclide therapy for bone pain palliation in cancer patients. *Cancer News.* 2014, (consultado 20 de Jun 2016). 18(2): 12–14. Disponible en: <http://www.rgcirc.org/UserFiles/cancer-news-june-2014.pdf>

Abreviaturas, siglas y símbolos: Deben ser los aceptados internacionalmente. Las abreviaturas y siglas se deben explicar la primera vez que se mencionan. Los símbolos y caracteres griegos, al igual que los subíndices y supraíndices, se deben definir claramente. Los símbolos que no sean de uso corriente deberán ser descritos con claridad en el texto.

Tablas: Se deben ordenar con numeración arábiga e incluirse al final del trabajo. No se pondrá punto al final del encabezamiento de la tabla.

Figuras: Los términos, las abreviaturas y los símbolos utilizados en las figuras deben ser los mismos que aparecen en el texto. No se utilizarán caracteres, ni símbolos poco frecuentes (son preferibles los círculos, cuadrados o triángulos en blanco o rellenos). Si son muy complejos se deben aclarar 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.

Cuando se confirme que el número a publicar de la revista incluirá la variante impresa, para la diferenciación de varias curvas que concurren en una misma figura no se utilizarán colores, sino diferentes tipos de caracteres.

Ecuaciones y fórmulas: Las ecuaciones matemáticas se deben escribir en letras cursivas, con precisión, en especial los subíndices y supraíndices. Evite el uso de exponentes complicados y la repetición de expresiones elaboradas.

El significado de los símbolos se explica debajo de la ecuación. En la descripción de los símbolos se utilizan dos puntos (:).

Ejemplo:

$$e = v.t$$

donde:

e: Espacio recorrido

v: Velocidad

t: Tiempo

El producto de dos o más unidades en forma de símbolos se indica con una cruz (x) como signo de multiplicación.

Ejemplo:

N x m (Newton metro)

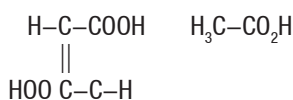
T x km (toneladas kilómetro)

En la división de unidades expresada en símbolos, se utiliza la línea horizontal (–), la línea oblicua (/) o las potencias negativas.

Ejemplo:

km/m, km x h⁻¹

En las fórmulas químicas los enlaces deben ir centrados y lo más unido posible a los átomos que se enlazan.



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

Escritura de números

1. Los números enteros con más de tres dígitos se escriben en períodos de tres, de derecha a izquierda, dejando entre sí un espacio. Se exceptúan los números de télex, teléfonos, números de casas en las direcciones, páginas, años, leyes, decretos, resoluciones y patentes.
2. En la numeración decimal, la separación de la parte entera de la decimal, se hace mediante una coma (,). La parte entera, se escribe en grupos de tres dígitos, de derecha a izquierda, a partir de la coma, separada entre sí, por un es–

- pacio. La parte decimal se escribe también en grupos de tres dígitos, de izquierda a derecha, a partir de la coma.
3. Cuando se escriben números seguidos unos de otro, se separan con puntos y coma (;) si son decimales, y mediante comas (,) si todos los relacionados son enteros.
 4. Después de un valor numérico cualquiera, los símbolos se escriben dejando un espacio entre dicho valor y la primera letra del símbolo. Ejemplos: 15 %, 10 °C.

Para la redacción de manuscritos a publicar en Otras Secciones

Los artículos de las demás secciones de la revista deben tener como objetivo difundir, con rigor científico y de forma asequible al público en general, temas relacionados con la energética nuclear, las diversas aplicaciones de las técnicas nucleares, energía nuclear, la seguridad nuclear, la protección radiológica, salvaguardias y no proliferación. Los trabajos no deben exceder las 10 cuartillas, incluidas ilustraciones y tablas. Deben contener resumen y título en español e inglés. El título, las tablas e ilustraciones, así como las referencias bibliográficas, seguirán las mismas indicaciones que rigen para los artículos de la sección Ciencias Nucleares e Innovación Tecnológica. Las secciones son las siguientes:

- Panorama Nuclear
- Ámbito Regulatorio
- Salvaguardias y No Proliferación
- En la Espiral

- De Interés.

Los artículos de estas secciones están sujetos a la aprobación del Consejo Editorial. A consideración del Consejo Editorial podrán ser sometidos también a arbitraje.

INFORMACIÓN GENERAL

La revista será publicada únicamente en versión digital, excepto que previamente se confirme por la editorial la publicación también en la variante impresa. Nucleus es revista arbitrada, certificada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, que acredita oficialmente el carácter científico–tecnológico de la publicación seriada, y que contribuye a su homologación internacional. Los autores serán informados oportunamente acerca del estado del proceso editorial de sus trabajos. En particular, acerca de la aceptación o no por el Consejo Editorial de los artículos para su publicación en la revista.

Cuando la revista se publique en versión impresa, los autores recibirán de forma gratuita dos ejemplares de la revista en la que aparece publicado su artículo.

VÍAS DE PRESENTACIÓN DE LOS MANUSCRITOS

En la redacción de la revista:

Calle 20 No 4111–4113 e/ 18–A y 47, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

Por correo electrónico: nucleus@cubaenergia.cu

Por la web: www.cubaenergia.cu/nucleus/nucleus.htm

Instructions for AUTHORS to publisher on nucleus...



Devoted to **Nuclear Science** and **Technological Innovation**

- Original papers should not exceed 10 pages (one column) including tables (up to 5) and illustrations (up to 5). Papers shall be either sent by email, in Word format, Arial 12th size font with 1,5 line spacing, or shall be directly delivered to the Editorial Department of the journal in an electronic medium. There is a maximum of 30 lines per page.
- Papers shall have the following order: Summary (in English and Spanish) Introduction, Materials and methods, Results, Discussion, Conclusions, Recommendations (optional), Acknowledgements (optional) and Bibliographic References. These sections should be well defined, though not necessarily with headlines.
- All papers shall include a letter signed by the corresponding author(s), stating that 1) the paper has not been previously sent to other publishers, 2) authors agree to publish it as it is and 3) authors meet the criteria for authorship.
- Papers are subject to a peer review and approval of the Editorial Board.
- Contributions to the journal are distributed free of charge to authors. Once selected for their approval, copyright is owned by the publishing house.

Author(s): Specify full name(s) and surname(s) as well as the institution.

Title: It should be both in English and Spanish and should not exceed 120 characters, or 20 words, nor include acronyms, abbreviations, chemical formulas or registered names (instead of generic names). Exceptionally, including acronyms of general use in Scientific and technical literature shall be accepted.

Abstract: It should not exceed 250 words, nor should contain acronyms, abbreviations or references. It should indicate the main objectives and scope of the research, describe the used methods, summarize the results and state the main conclusions. It should be written impersonally, in past tense in both Spanish and English. The document content will be based on 3 to 10 key words at the bottom of the abstract, arranged in order of importance, both in Spanish and in English at the bottom of the corresponding abstract.

tract in each language. INIS shall include its appropriate descriptor index(es) in each paper.

Introduction: Explain the nature and scope of the research as clearly as possible, review relevant literature; indicate the research methods, if necessary; mention the main research results and state the conclusion or main conclusions drawn by the results.

Materials and methods: Most of this section should be written in past tense and full details shall be provided. The main purpose is to make a description and reproduce the results. The materials should include technical specifications, the exact quantities used, as well as the source or preparation method. Generic or chemical names should be used.

Results: A broad, clear and simple description of experiments should be made, providing an overview but without repeating the details on the materials and methods used in the experiments. The most representative data should be provided. The statement should be written in the past tense.

Discussion: Principles, relationships and generalizations from the results must be set out. Exceptions of lack of correlation should be noted, and unresolved issues should be identified. It is important to show how consistent (or not) are the results and interpretations with previously published papers. The theoretical implications of the work and its possible practical applications should be stated. Evidence supporting each conclusion should be summarized. Present and past tenses are to be used.

Conclusions: It should be made as clear as possible. Bibliographic references shall not be included.

Recommendations (optional): Only options considered to provide a sound basis to support the topic of the article and feasible to be implemented shall be included.

Acknowledgements (optional): Include acknowledgements for any major technical assistance received from any person who has contributed to the review and submission of a paper, experiment or provision of equipment, special materials, etc.

Bibliographic References: All consulted documents must be listed under this heading. Footnotes are not to be used. Only important and recently published papers should be included by priority order. Manuscripts should not exceed 20 quotations, revisions – from 25 to 50. All parts of each reference listing should be checked against the original before submitting the article. The references in the text should be numbered with Arabic numerals in square brackets in their corresponding place in the paper and following a consecutive order of appearance. References with all its required data i.e. last name, name of author(s), title, journal title, year, volume (number): initial page – final page are to be included after the Conclusions or Acknowledgments in case there are some of the latter. If there are 5 or more authors, only the first 4 should be mentioned, followed by “et al.” The titles of journals must conform to the INIS System (see IAEA–INIS–11).

Two bibliographic references of journals are included here below as examples:

[12] HILLEGONDS DJ, FRANKLIN S, SHELTON DK, VIJAYAKUMAR S, VIJAYAKUMAR V. The Management of Painful Bone Metastases with an Emphasis on Radionuclide Therapy. *J. Natl. Med. Assoc.* 2007; (99): 785–794.

[24] SRIVASTAVA SC. Treatment of joint and bone pain with electron emitting radiopharmaceuticals. *Indian J. Nucl. Med.* 2004; 19(3): 89–97.

References to papers published in the Proceedings of a meeting or conference should include the following information: surname, author's name (s), title of the paper; it should also specify in which meeting or conference Proceedings it was included (its denomination in the original language or transliteration in case of language with an alphabet other than Latin), place and date of the event, as well as the organizing institution and date of publication. The following references are included as an example:

[13] WHITE JR, CHAPMAN DM, BISWAS D. Fuel Management Optimization Based on Generalized Perturbation Theory. Proceedings of the Conference on Advances in fuel Management. Toronto, Canada, June 9–12 1986. Canadian Nuclear Society. 1986.

[4] DI GEORGIO M. Respuesta multidisciplinaria desarrollada en Argentina ante un suceso radiológico. VIII Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear. I Congreso Latinoamericano del IRPA. V Congreso Nacional de Protección Radiológica. 11 al 15 de octubre 2010. Medellín, Colombia. 2010.

References to articles published in internet should include:

The authors (4 as maximum, et al). Title of the article. Abbreviation of the journal. Year; Volume (Number): pages. Available in: the article's webpage. As for example:

[17] GUPTA M, CHOUDHURY PS. Systemic radionuclide therapy for bone pain palliation in cancer patients. *Cancer News*. 2014, (consulted on June 20th 2016). 18(2): 12–14. Available in: <http://www.rgcirc.org/UserFiles/cancer-news-june-2014.pdf>

Abbreviations, acronyms and symbols: should be those internationally accepted. The abbreviations and acronyms should be explained the first time mentioned. Symbols and Greek characters should be clearly defined, as well as subscripts and superscripts.

Tables: should be ordered with Arabic numerals and should be included at the end of the paper. At the end of a table's heading no period is to be used

Figures: The terms, abbreviations and symbols used in the Figures should be the same of the text. Do not use characters or uncommon symbols (blank or filled in triangles, circles or squares are preferred). If they are too complex, they must be specified in a concise caption. Symbols and characters must be clear and readable when reduced in size.

Whenever it is confirmed that the journal to be published shall include a printed version, in order to differentiate the various curves included in a single figure, different types of characters and not colours shall be used.

Equations and formulas: mathematical equations should be written accurately, especially subscripts and superscript. Avoid using complex exponents and repetition of elaborate expressions.

The meaning of symbols is explained below the equations. To describe symbols a colon is used. [:]

Example:

$$e = v.t$$

Where:

e: Space travelled

v: Speed

t: Time

The product of two or more units in the form of symbols is indicated by a cross (x) as a sign of multiplication.

Example:

N x m (Newton meter)

T x km (tonnes)

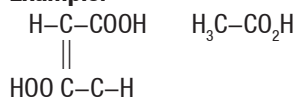
In the division of units expressed in symbols, a colon [:], a slash or slant [/] or negative exponents are to be used.

Example:

km / m, km x h⁻¹

In chemical formulas the bonds must be centered and as close as possible to the bonded atoms.

Example:



Units: As a general rule, the International System of Units must be used and inadequate symbols and abbreviations must be avoided.

Writing numbers

1. Whole numbers with more than three digits are written in groups of three, from right to left, leaving a space between them. Exceptions to the preceding rule are telex numbers, telephones, house numbers in addresses, pages, years, laws, decrees, resolutions and patents
2. In decimal numbering, a comma (,) is used to separate whole numbers and its decimal portion. The whole number is written in groups of three digits, from right to left, from the comma, separated from each other, by a space. The decimal portion is also written in groups of three digits, from left to right, from the comma.
3. When numbers are written next to each other, they are separated by semicolons (;) if they are decimals, and by commas (,) if all the numbers mentioned are whole.
4. After any numeric value, the symbols are written leaving a space between that value and the first letter of the symbol. Examples: 15 %, 10 °C.

Publications in OTHER SECTIONS

The articles in other sections of the journal should be aimed at disseminating, with scientific rigor and in a way accessible to the public in general, issues related to nuclear energy, the different applications of nuclear technology, nuclear safety, radiation protection, safeguards and non proliferation. Papers should not exceed 10 pages, including illustrations and tables. They should contain an abstract and title in English and Spanish. The title, tables and illustrations shall follow the same directions applied to papers from the Nuclear Science and Technological Innovation Section. The sections are:

- Nuclear Outlook
- Regulatory Area
- Safeguards and Non-proliferation
- In the Spiral
- Matters of Interest

The articles in these sections are subject to the approval of the Editorial Board. Considering the editorial board suggestions, the articles could be also submitted to arbitration.

GENERAL INFORMATION

The journal is only to be published in electronic format, except in case the publication of a printed version of the journal is previously confirmed by its Editorial Board. Nucleus is a peer-reviewed journal, approved by the Ministry of Science, Technology and Environment of Cuba, which officially certifies its scientific and technological character, and contributes to its recognition as a journal equivalent to other international publications.

The authors shall be duly informed about the editorial process of their papers, in particular, about the approval or not by its Editorial Board of the papers to be published.

Whenever the journal is published in a printed version, the authors shall receive free of charge two copies of the journal in which the paper in question is published.

ARTICLES SHALL BE EITHER SENT BY ORDINARY MAIL TO THE JOURNAL'S POSTAL ADDRESS:

Nucleus Editorial Dept.

Calle 20 No. 411 e/ 41 y 47, Miramar, Playa, CP 11300, Havana, Cuba;

BY Electronic mail: nucleus@cubaenergia.cu

OR Website: [www.cubaenergia.cu](http://www.cubaenergia.cu/publicaciones)>publicaciones>nucleus



nucleus *Suscripción* Subscription

Sírvase suscribirme a Nucleus *Please enter my subscription to Nucleus*

Nombre y apellidos *Name:* _____

Dirección *Address:* _____

E-mail: _____

Ciudad *City:* _____ **País** *Country:* _____

Apartado Postal *Post Office letter-box:* _____ **Código Postal** *Mail code:* _____

Teléfono(s) *Telephone(s):* _____ **Fax:** _____

**Suscripción
anual
Annual
subscription**

Para nacionales
For natives

\$ 16.00 pesos

Para extranjeros
Foreign peoples

\$ 20.00 USD

Adjunto cheque por valor de: (colocar la tarjeta en sobre) I'm sending a check for: (place card in envelope) _____ Pesos/USD

Dirija su suscripción a la siguiente dirección Send your subscription to:

CUBAENERGIA

Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía

Calle 20 N° 4111 e/ 41 y 47, Miramar, Playa, La Habana. CUBA Telf: (53 7) 203 1412 E-mail: comercial@cubaenergia.cu

aenta

Agencia de Energía Nuclear
y Tecnologías de Avanzada

Ciencias nucleares y tecnologías de avanzada para el desarrollo sostenible

Misión:

Gestionar conocimientos, servicios y productos relacionados con la tecnología nuclear, fuentes renovables de energía y otras tecnologías de avanzada, de acuerdo con las prioridades de desarrollo sostenible del país.

Aplicaciones tecnológicas en:

Salud, Industria, Agricultura,
Energías Renovables y Medio Ambiente

Instituciones:

- Centro de Isótopos (CENTIS)
- Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR)
- Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)
- Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGIA)
- Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey (CIAC)
- Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF)



Calle 20 No. 4109 e/ 41 y 47 Miramar, Playa, La Habana
Teléf.: 202 2524 Fax: (537) 204 1188
www.aenta.cu
Contacto AENTA: presidencia@aenta.cu