

REVISIÓN

Evolution of nuclear science and technology in Cuba from 1959 to the end of the 20th century

Evolución de las ciencias y tecnologías nucleares en Cuba a partir de 1959 hasta finales del siglo XX

Janser Hernández Ojeda¹ , Maydi Estrada Bayona¹

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

Citar como: Hernández Ojeda J, Estrada Bayona M. Evolution of nuclear science and technology in Cuba from 1959 to the end of the 20th century. Multidisciplinar (Montevideo). 2024; 2:117. <https://doi.org/10.62486/agmu2024117>

Enviado: 01-01-2024

Revisado: 07-04-2024

Aceptado: 01-08-2024

Publicado: 02-08-2024

Editor: Prof. Dr. Javier Gonzalez-Argote 

Autor para la correspondencia: Janser Hernández Ojeda 

ABSTRACT

The assimilation and application of nuclear technologies in Cuba has allowed for sustainable development in sectors such as medicine, industry, agriculture and the environment, which has led to the creation of an adequate scientific-technical infrastructure and the strengthening of the socioeconomic pillars on which the nation is based. From the failed attempt to install nuclear weapons on the island, to the so-called Cuban Nuclear Program, which sought to solve the national electricity problem through electronuclear means; nuclear sciences have evolved and achieved great things, despite the country's limited resources. This historical process has not been properly studied and disseminated among the public not linked to the nuclear sector; therefore, it deserves to be analyzed from an objective, current and non-sensationalist point of view. Perhaps due to the ignorance of the population, which generally perceives the term "nuclear" associated with weapons or nuclear power plants, the applications and the work of professionals in this area of science in Cuba tend to go unnoticed. For this reason, the objective of the present work is to systematize the processes referring to the evolution of nuclear sciences and technologies in Cuba from 1959 onwards, taking into account the historical and political scenario that determines the efforts towards which nuclear applications are directed in each historical period, as well as their transcendental contribution to the sustainable development of the country, from the first years of the Revolution until the end of the 20th century.

Keywords: Nuclear Technologies; Nuclear Sciences; Cuban Nuclear Program; Sustainable and Sustainable Development.

RESUMEN

La asimilación y aplicación de las tecnologías nucleares en Cuba ha permitido un desarrollo sostenible y sustentable en sectores como la medicina, la industria, la agricultura y el medio ambiente, lo que ha devenido en la creación de una infraestructura científico-técnica adecuada y el fortalecimiento de los pilares socioeconómicos sobre los que se sustenta la nación. Desde el fallido intento por instalar en la isla armamento nuclear, hasta el denominado Programa Nuclear Cubano, que buscaba la solución del problema electroenergético nacional por la vía electronuclear; las ciencias nucleares han evolucionado y alcanzado grandes logros, a pesar de los limitados recursos con los que cuenta el país. Este proceso histórico no ha sido debidamente estudiado y divulgado entre el público no vinculado al sector nuclear; por lo que merece ser analizado desde un punto de vista objetivo, actual y no sensacionalista. Quizás por desconocimiento de la población, que generalmente percibe el término "nuclear" asociado a armas o centrales nucleares, las

aplicaciones y la labor de los profesionales en esta área de la ciencia en Cuba, suelen pasar inadvertidos. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo sistematizar sobre los procesos referentes a la evolución de las ciencias y tecnologías nucleares en Cuba a partir de 1959, teniendo en cuenta el escenario histórico y político que determina los esfuerzos hacia los que se encaminan las aplicaciones nucleares en cada período histórico, así como su trascendental contribución al desarrollo sostenible del país, desde los primeros años de la Revolución hasta finales del siglo XX.

Palabras clave: Tecnologías Nucleares; Ciencias Nucleares; Programa Nuclear Cubano; Desarrollo Sostenible Y Sustentable.

INTRODUCCIÓN

Tras el triunfo de la Revolución, el 1° de enero de 1959, uno de los esfuerzos principales para mejorar la situación en que se encontraba Cuba fue la creación de una infraestructura científico-técnica adecuada, que a su vez permitiría la construcción de un sistema de salud y educación de alta calidad, así como el mejoramiento de los servicios, la economía y el sistema de defensa nacional. Para esta fecha ya el empleo de la energía nuclear era un hecho consolidado a nivel mundial e incluso desde 1953, Fidel Castro ya había vislumbrado un futuro nuclear para la Isla, dejando testimonio de ello en su alegato de autodefensa “La historia me absolverá” al expresar:

“(…) las posibilidades de llevar corriente eléctrica hasta el último rincón de la Isla son hoy mayores que nunca, por cuanto es ya una realidad la aplicación de la energía nuclear a esa rama de la industria”.⁽¹⁾

Fidel veía en la energía nuclear una poderosa herramienta para enfrentar el problema electroenergético nacional, por lo que la asimilación y aplicación de las tecnologías nucleares se convirtió en uno de los objetivos perseguidos tras el establecimiento del gobierno revolucionario. Tales expectativas fueron cumplidas, fundamentalmente, gracias a la colaboración con la Unión Soviética y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Uno de los momentos cumbres del desarrollo nuclear en nuestro país fue sin lugar a dudas durante el denominado Programa Nuclear Cubano, que si bien no cumplió su objetivo fundamental desde el punto de vista nucleenergético, dejó como saldo varias instituciones y profesionales especializados en el empleo de las técnicas nucleares, que han jugado un papel clave en la formación de las nuevas generaciones, haciendo posible que aún hoy en día se continúen aplicando las ciencias y tecnologías nucleares en función del desarrollo sostenible y sustentable del país.

Dados los grandes logros que ha tenido Cuba en el ámbito nuclear y las aplicaciones que tienen actualmente las ciencias y tecnologías nucleares, el presente trabajo investigativo se propone como objetivo sistematizar sobre los procesos referentes a la evolución de las ciencias y tecnologías nucleares en Cuba a partir de 1959, teniendo en cuenta el escenario

histórico y político que determina los esfuerzos hacia los que se encaminan las aplicaciones nucleares en cada período histórico, así como su trascendental contribución al desarrollo sostenible del país, desde los primeros años de la Revolución hasta finales del siglo XX.

DESARROLLO

Uno de los primeros pasos para lograr un desarrollo científico-técnico adecuado en el país, fue la fundación de la Academia de Ciencias de Cuba el 20 de febrero de 1962, bajo la presidencia de Antonio Núñez Jiménez, propulsando la creación de centros como el Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR), el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) y el Instituto de Ciencia Animal (ICA), que fueron pioneros en el país en el empleo de radiaciones ionizantes en ensayos biomédicos.⁽²⁾

A pesar de estos grandes logros en el desarrollo científico nacional, desde el punto de vista nuclear, el hecho que marcó los primeros años de la Revolución fue sin lugar a dudas la Crisis de Octubre o Crisis de los Misiles, cuya causa fundamental estuvo en el acuerdo intergubernamental entre la URSS y el gobierno cubano para instalar armamento nuclear en la Isla; si bien el investigador cubano Fabián Escalante señala que dada la política agresiva de Estados Unidos hacia Cuba, una crisis en el Caribe era inevitable, con o sin misiles.⁽³⁾

Tras la invasión por Playa Girón y los constantes actos subversivos que se habían incrementado como parte de la Operación Mangosta, desde su aprobación el 16 de marzo de 1962, la amenaza de otra invasión se cernía sobre la Isla.⁽⁴⁾ En este contexto, el 29 de mayo de 1962 llegó a La Habana una delegación soviética encabezada por Sharaf Rashidov, con la misión, encomendada por el presidente soviético Nikita Jrushchov, de proponer al gobierno cubano la instalación de cohetes de alcance medio e intermedio como medida disuasiva contra posibles agresiones del gobierno norteamericano.⁽⁵⁾

Fidel en su respuesta a la proposición alegó que Cuba no necesitaba de aquel armamento para defender

su soberanía como ya había demostrado en Girón, pero que aceptaría la instalación de los cohetes como muestra de solidaridad con la URSS, en tanto un acuerdo de esta índole permitiría el fortalecimiento del bloque socialista.⁽⁵⁾

En los meses de julio a octubre se desplegó en el país gran parte del armamento acordado, así como los correspondientes medios y especialistas para su instalación. Los efectivos soviéticos en Cuba alcanzaron un total de 43 000 hombres.⁽⁶⁾ Todo el proceso se llevó a cabo con suma discreción según había propuesto el gobierno de Moscú y aun en contra de la sugerencia de Fidel Castro de hacer público el acuerdo para legitimarlo frente a la opinión pública.⁽⁵⁾ Jrushchov se había comprometido a desplegar en la isla 24 misiles balísticos de alcance medio (aproximadamente 1690 km) R-12, con una potencia nuclear entre 1,3 y 2,3 Mt, y 16 misiles intermedios R-14 (aproximadamente 3380 km), que duplicaban en alcance y potencia a los R-12;⁽⁷⁾ además de regimientos de infantería motorizada, divisiones de cohetes antiaéreos y submarinos con misiles atómicos.⁽⁵⁾

El 14 de octubre de 1962, los servicios de inteligencia de los Estados Unidos detectaron la presencia de armas ofensivas y plataformas de lanzamiento que estaban siendo construidas en San Cristóbal, al oeste de La Habana. El gobierno norteamericano no podía tolerar tal amenaza, por lo que el presidente Kennedy, el 22 de octubre de 1962, declaró públicamente el establecimiento de una cuarentena y un “cerco naval” alrededor de la isla de Cuba, desplegándose barcos y aviones de guerra en el Mar Caribe, con el objetivo de bloquear el paso de los buques soviéticos e impedir el envío de armas a Cuba. Kennedy también dio autorización para acciones ofensiva contra la URSS en caso de que no dieran marcha atrás en su “Operación Añadir” o utilizaran los misiles ya instalados en la isla.^(6,8)

Esta situación puso al mundo entero en pie de guerra, por lo que Jrushchov comenzó negociaciones con Kennedy, llegando al acuerdo de retirar las armas y asesores militares desplegados en Cuba, a cambio de que Estados Unidos retirara el cerco a la Isla y los obsoletos misiles de mediano alcance que tenían desplegados en Turquía, así como la promesa de no invadir Cuba. En las negociaciones no se tuvo en cuenta la opinión del gobierno cubano, por lo que la inconformidad de Fidel Castro se hizo sentir.^(6,8)

La situación durante la Crisis de Octubre fue realmente abrumadora. La cuarentena decretada por Kennedy implicó destinar 16 destructores, 3 cruceros, un portaaviones antisubmarinos y 6 barcos madre en la región comprendida entre la Florida hasta más allá de Puerto Rico. Los embajadores norteamericanos en Guinea y Senegal solicitaron a sus respectivos gobiernos negar el permiso de aterrizaje a los aviones soviéticos que hacían escala en estos países durante sus vuelos hacia Cuba; petición que fue aceptada por ambas naciones.⁽⁹⁾ Por la parte soviética, según exjefes militares de la URSS, durante la crisis sus fuerzas en Cuba contaban con 162 cabezas nucleares, además de 4 submarinos que seguían los buques norteamericanos en las proximidades de la Isla y que contaban con torpedos dotados de cabezas nucleares.⁽⁷⁾ Estas cifras demuestran la magnitud del conflicto que se estaba gestando y la necesidad de ponerle fin de forma pacífica.

Fidel Castro no se quedó de brazos cruzados y ordenó, a partir del día 27, abrir fuego contra todo avión enemigo a baja altura. Ese mismo día fue derribado un avión U-2 en la zona de Banes. Esta firme e inesperada respuesta estremeció al gobierno de Kennedy, quien no vaciló más en aceptar la propuesta de la URSS. El 28 de octubre el gobierno soviético emitió la orden de cesar la construcción de los emplazamientos coheteriles y dismantelar las instalaciones ya desplegadas. Esta decisión no fue consultada ni informada oficialmente al gobierno cubano. Fidel mostró su indignación por cómo se manejaron las negociaciones y por el hecho de “cambiar los cohetes de Cuba por los de Turquía”.⁽⁶⁾

En el año 1962, Cuba se convirtió en escenario de uno de los momentos más tensos de la Guerra Fría. Tanto el presidente Kennedy como el gobierno soviético tomaron la decisión aceptada al encontrar una vía pacífica de solucionar la situación, mostrando una actitud previsiva y racional, al considerar los graves daños que provocaría a los dos países y al mundo el inicio de una guerra nuclear.⁽¹⁰⁾ Sin embargo, el trato dado al gobierno cubano fue reprochable e indignante. Los acuerdos no fueron cumplidos a cabalidad por el gobierno norteamericano, continuando las agresiones a Cuba, no a través de enfrentamientos militares como la invasión mercenaria en Girón, pero las campañas difamatorias, sabotajes, atentados y sobre todo el bloqueo económico siguieron frenando el desarrollo del país.

Desarrollo alcanzado en la primera mitad de la década del 70. Programa Nuclear Cubano

En 1976, como parte del convenio intergubernamental entre Cuba y la URSS, se acordó la construcción en Juraguá, provincia de Cienfuegos, de la primera central nucleoelectrónica en América Latina, que conllevó a la estructuración del Programa Nuclear Cubano, que se trazó cinco direcciones principales: la nucleoeenergética, la creación del sistema de protección radiológica y seguridad nuclear, la amplia introducción de técnicas nucleares en diversos sectores, el impulso a las investigaciones básicas y aplicadas, y la formación integral del personal requerido.⁽²⁾ La central contaría con cuatro reactores soviéticos tipo VVER de agua presurizada, que empleaban agua como refrigerante y a la vez como moderador de neutrones. En 1983 comenzó a construirse el primer reactor y en 1985, el segundo. Los reactores serían del modelo original VVER-440/V-318 de ejecución antisísmica, con contención cilíndrica simple de hormigón armado y una potencia de 417 MW.^(13,14) El combustible

a utilizar, con ciclo de tres años, sería óxido de uranio (IV) ligeramente enriquecido entre 2,4 y 4,4 % de ^{235}U .^(15,16)

Con la creación en 1980 de la Comisión de Energía Atómica de Cuba (CEAC) y la Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares (SEAN) el país dio un importante paso en la organización de los esfuerzos por la asimilación de las tecnologías nucleares en sus diversos usos pacíficos, siguiendo los objetivos trazados en el Programa Nuclear Cubano. La CEAC fue la encargada de coordinar y controlar las actividades científicas en el país dentro del ámbito nuclear, así como proporcionar asesoramiento al estado sobre la política a trazar en esta esfera; mientras que la SEAN sería la encargada de implementar la política aprobada y de desarrollar la infraestructura científico-técnica y el capital humano requeridos.⁽¹⁶⁾

A pesar, de los múltiples esfuerzos por propulsar el Programa Nuclear Cubano, su principal objetivo trazado: la nucleoeenergética, se volvió prácticamente imposible de lograr tras la caída del campo socialista y la desintegración de la URSS. La construcción de una central nuclear requiere de grandes inversiones, sin embargo, tras la desaparición de la Unión Soviética, la falta de recursos y presupuesto llevó al gobierno cubano a tomar la decisión, en 1992, de abandonar la construcción de lo que sería “la obra del siglo”. Sin bien ya se habían construido dos de los cuatro reactores, aún faltaban componentes esenciales por instalar y el combustible nuclear no había sido entregado.⁽²⁾

Aplicaciones de las ciencias nucleares en el país como parte del Programa Nuclear Cubano (1976-1992)

Durante este período se fundaron varios centros cuyas direcciones principales estaban encaminadas a la investigación y aplicaciones de las ciencias nucleares a usos pacíficos; aunque también varias instituciones reconocieron las potencialidades de las tecnologías nucleares y comenzaron a aplicarlas en diferentes sectores como la agricultura y los estudios medioambientales. Por supuesto, en el sector industrial y la medicina, donde las tecnologías nucleares ya venían asimilándose desde la década del 40, continuaron propulsando el uso de las tecnologías nucleares en áreas cada vez más prometedoras y que se sometieron a intensa investigación científica.

Para cumplimentar uno de los objetivos prioritarios del Programa Nuclear Cubano: la seguridad radiológica, surge en 1985 el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), como centro técnico rector de toda la vigilancia radiológica en el territorio nacional. La asesoría soviética fue fundamental en los primeros momentos para su desarrollo, permitiendo la formación del joven personal en las más rigurosas medidas de protección radiológica y los métodos dosimétricos más exactos en aquellos momentos, de forma tal que se garantizara la integridad física tanto del personal ocupacionalmente expuesto como de la población.⁽¹⁷⁾

En 1991, fue fundado el Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN), como órgano regulador encargado de evaluar el cumplimiento de las medidas de seguridad radiológica en las instituciones del país donde se aplicasen las tecnologías nucleares. A partir del surgimiento del CNSN se perfeccionaron en el país las estrategias para garantizar la seguridad nuclear y radiológica, estableciéndose un marco legal y regulador para el uso de la energía nuclear. Según las normas recomendadas por el OIEA, se aprobó el Decreto-Ley No. 207 del año 2000 “Sobre el uso de la energía nuclear”, estableciendo los requisitos a cumplir en locales donde se trabaje con sustancias radiactivas, el transporte de estos materiales, gestión de desechos, notificación y autorización para la realización de estas prácticas, así como los procedimientos de inspección y control.^(18,19)

Por otra parte, el 28 de octubre de 1987, se inaugura el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN),^(11,19) con la participación de Fidel Castro y el director general del OIEA en aquel momento: Hans Blix.⁽²⁰⁾ El centro desde sus inicios ha mantenido una labor activa en investigaciones aplicadas, la asimilación de tecnologías y la prestación de servicios científico-técnicos.^(11,19) En 1988, el CEADEN alcanzó resultados loables en el desarrollo de técnicas para la preparación de compuestos marcados. En este año, se comenzó a preparar la variante gamma de ATP marcado con ^{32}P , suministrado al Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) para estudios metabólicos. Además, el centro suministraba insulina marcada con ^{125}I al Hospital “Hermanos Ameijeiras” para radiodiagnóstico y estudios de diabetes.⁽²¹⁾ Sus investigaciones actualmente se relacionan con disímiles campos como la física de estados condensados, química analítica, radioquímica, radiobiología, electrónica nuclear, óptica, mecánica de precisión y ciencia de los materiales.⁽¹⁹⁾

En este período, las aplicaciones nucleares en medicina, que tuvieron como promotor principal al INOR. El centro contaba con una cámara gamma y un suministro de radionucleidos gracias a los acuerdos de colaboración internacional a través del PNUD, lo cual permitía el desarrollo de investigaciones, así como la prestación de servicios de diagnóstico y terapia de enfermedades oncológicas, cardiovasculares, neurológicas, entre otras.⁽¹²⁾

El sector industrial fue de los más favorecidos, principalmente con vistas a lograr las expectativas electronucleares que se avivaban cada vez más. A esto se suman otros esfuerzos, fundamentalmente en la detección de fugas mediante técnicas de rayos X y gammagrafía,⁽¹⁸⁾ así como la aplicación de técnicas nucleares en la prospección de petróleo.^(22,23) Desde comienzos de la década del 90, se han reportado numerosos resultados sobre la evaluación de la composición multielemental de reservorios de petróleo y gas natural en el norte de la zona de La Habana-Matanzas, Martín Mesa y Pina.⁽²⁴⁾

Fue instalado un irradiador con 12 fuentes selladas de ^{60}Co en el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria

(CENSA), que entró en funcionamiento desde 1985^(25,26) y, en marzo de 1987, se inauguró la Planta de Irradiación de Alimentos, donde se han irradiado diferentes productos agrícolas con el objetivo de eliminar plagas y retardar la maduración. Sin embargo, una década después de su fundación, la planta interrumpió sus servicios debido a la baja actividad de las fuentes y la necesidad de modificarla tecnológicamente, de acuerdo con los requerimientos exigidos en el mercado nacional e internacional. A partir de 2005, la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA) desarrolla una estrategia en colaboración con el OIEA y el CPHR para la extracción de las fuentes en desuso y se instalaron nuevas fuentes de ⁶⁰Co en la planta, reabierta desde 2019.^(27,28)

También se registran estudios para evaluar la captación y biodistribución de nutrientes en las plantas, así como eficiencia de fertilizantes, mediante el uso de radiotrazadores marcados con ¹⁵N, ³²P y ¹⁴C. La inducción de mutaciones en cultivos para lograr mejores propiedades nutritivas y aumentar su resistencia ante plagas es otro campo de estudio al que se prestó bastante interés dentro del sector agrícola.^(22,29)

Los radiotrazadores han tenido un rol importante en estudios ambientales, utilizándose en la determinación del caudal de sistemas fluviales y cuencas de aguas subterráneas mediante el análisis de los tiempos de residencia. Asimismo, se reportan estudios sobre la composición isotópica de pozos y manantiales en zonas de Pinar del Río y Matanzas.⁽¹⁶⁾

En 1989 quedó constituida la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental, bajo la dirección del CPHR, con el objetivo de detectar cualquier anomalía radiológica que se presente en el territorio nacional debido a accidentes nucleares a escala regional o global.⁽¹⁷⁾ La red se ha sometido a procesos de automatización y perfeccionamiento para incrementar sus capacidades de respuesta y la exactitud y precisión en la monitorización.^(30,31)

CONCLUSIONES

Se caracterizaron los avances realizados en el ámbito nuclear en Cuba desde los primeros años de la Revolución, a partir de la iniciativa de Fidel Castro y la colaboración con la URSS.

Se analizó el desarrollo científico-tecnológico alcanzado durante el Programa Nuclear Cubano y la dirección que tomaron las ciencias nucleares tras la desintegración de la URSS.

Se evaluó la influencia internacional en el desarrollo nuclear cubano a partir de 1991, fundamentalmente a través de convenios de colaboración con el OIEA.

Se valoró el impacto que han tenido las ciencias y tecnologías nucleares en Cuba en sectores como la industria, la agricultura, la medicina y los estudios medioambientales desde 1959 hasta finales del siglo XX.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Castro Ruz, F. (1953). La historia me absolverá.
2. Castro Díaz-Balart, F. (2014). La física nuclear en Cuba: apuntes para una historia. *Nucleus*, 56.
3. Guerra, P. M., Milanés, E. (2022, October 7). Con misiles o sin misiles habría crisis de octubre. *Cuba Periodistas*.
4. Escalante Font, F. (2008). *La Guerra Secreta: Proyecto Cuba*. Editorial de Ciencias Sociales.
5. Évora Capote, I. (2012). *Crisis de Octubre. Cuba y su juventud con el escudo: memorias sobre la artillería*. Editorial Universitaria.
6. Rodríguez Díaz, A. R., Milián Rosales, L. de la C., Delgado Corrales, B. (2018). Fidel Castro y la crisis de octubre. *Varona, Revista Científico-Methodológica*.
7. Linares Martínez, A. (2009). Lo que revelan los archivos desclasificados sobre la crisis de los misiles en Cuba y la definición de la Guerra Fría. *Revista de Historia y Ciencias Sociales*, 16, 82-106.
8. Capote, R. A. (2018). *Crisis de octubre: los cinco puntos de la dignidad*. Granma.
9. Molla, Luis., Pasamontes, J. C. *Cuba, 1962: los misiles que estremecieron al mundo*.
10. Carbone, V. L. (2006). *Cuando la Guerra Fría llegó a América Latina: la política exterior norteamericana hacia Latinoamérica durante las presidencias de Eisenhower y Kennedy (1953-1963)*. Centro Argentino de Estudios Internacional.
11. Sánchez Colina, M., Baracca, A., Cabal Mirabal, C., Pentón Madrigal, A., Renn, J., & Wendt, H. (2019). *Historia de la física en Cuba (siglo XX)*. Max Planck Institute for the History of Science.

12. Baracca, A., Fajer, V., & Henríquez, B. (2005). El despegue de la física en Cuba desde 1959 hasta la década de los 70: un enfoque abarcador. RUISF.
13. Castro Díaz-Balart, F. (1990). La energía nuclear en Cuba: factor imprescindible para el desarrollo. Boletín Del OIEA.
14. Milhem, M., Reibell, M., & Dejeux, M. (1992). Descriptions des VVER. SFEN.
15. Smetana, J. (2014). Combustible nuclear para agua a presión. Reactores Nucleares.
16. Castro Díaz-Balart, F. (1997). Energía Nuclear: ¿peligro ambiental o solución para el siglo XXI? (1ra ed.). Ediciones Mec Grafic S.A.
17. Walwyn Salas, G., González Mesa, J. E., Molina Pérez, D., Dayana, R., Machado, G. M., López Bejerano, I. M., Fernández Gómez, C. C., Ramos, O. G., Lima, M. M., Salgado Mojena, R., Ramos Valdés, M., Peralta Vital, J. L., Castro Soler, A., González Rodríguez, N., Cardenas Herrera, J. & Tamayo García, J. A. (2020). CPHR: 35 años al Servicio de la Protección Radiológica, la Salud y el Medio Ambiente. Nucleus, 67.
19. Guillén Campos, A. (2016). 25 años del Centro Nacional de Seguridad Nuclear. Nucleus, 60.
20. Marrero García, M., & Sanabria Molina, I. (2010). Implementación de un sistema de gestión de la calidad en el Centro Nacional de Seguridad Nuclear de la República de Cuba. Nucleus, 48.
21. Herrera Palma, V., Hernández Torres, D., & Sendoya Puente, F. (2023). Aportes de los servicios científico-técnicos del CEADEN a la economía nacional. Nucleus, 73.
22. Organismo Internacional de Energía Atómica. Hans Blix nombrado Director General. (1981).
23. Días García, A. (2017). El Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN) en ocasión de su 30 aniversario. Anales de La Academia de Ciencias de Cuba, 7.
24. Griffith, J., Desdín, L. F., Rodríguez, R. (1997). Experiencias de las aplicaciones de las técnicas nucleares en la industria cubana.
25. Rodríguez Martínez, N., Montero Cabrera, M. E. (1997). Avances cubanos en la aplicación de las técnicas nucleares en la prospección de petróleo.
26. Llanes Rodríguez, M., Rodríguez Perdomo, Y., Benítez Navarro, J. C., Salgado Mojena, M., Fraga Acosta, D., Soto Álvarez, E., Pérez Reyes, Y., Soler Roger, D. M., & Abreu Méndez, Y. (2011). Desmantelamiento del irradiador autoblandado Gammacell 500. Nucleus, 50.
27. Prieto Miranda, E., & Chávez Ardanza, A. (2023). La tecnología de irradiación en el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN). Resultados y perspectivas. Nucleus, 73.
28. Planta de Irradiación de Alimentos en Cuba gestiona sus fuentes en desuso de forma segura, liderado por expertos del CPHR. (2022).
29. León, V., Pérez, I. P., Dorado, M., Gutiérrez, L., & Herrería, M. E. (2004). Tres décadas de aplicaciones de las técnicas nucleares al desarrollo de la agricultura cubana. Revista Agrotecnia de Cuba.
30. Isasi, E. M., & Abreu Ferrer, S. (1983). Influencia del tratamiento mutagénico de un híbrido intervarietal de frijol común (*Phaseolus vulgaris*).
31. Domínguez Ley, O., Kalber, O., Capote Ferrera, E., Carrazana González, J. A., Manzano de Armas, J. F., Alfonso Abad, D., Prendes Alfonso, M., Zerquera, J. T., Caveda Ramos, C. A., Fabelo Bonet, O., Cartas Águila, H., Leyva Fernández, J. C., & Montalvan Estrada, A. (2005). Automatización del monitoreo en tiempo real de la tasa de dosis absorbida en aire debido a la radiación gamma ambiental en Cuba. Nucleus, 37.

32. Domínguez Ley, O., & Ramos Viltre, E. O. (2006). Incorporación de una estación radiológica cubana a la Red Global de Isótopos en Precipitaciones.

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Curación de datos: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Análisis formal: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Investigación: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Metodología: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Administración del proyecto: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Recursos: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Software: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Supervisión: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Validación: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Visualización: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Redacción - borrador original: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.

Redacción - revisión y edición: Janser Hernández Ojeda, Maydi Estrada Bayona.