

Los riesgos asociados al factor humano en la seguridad operacional de las armas nucleares

Human risks in the operational safety of nuclear weapons

Antonio Torres Valle^{1*}  <https://orcid.org/0000-0001-9240-5977>

Luís Osvaldo Zamora Lugo¹  <https://orcid.org/0009-0006-5990-7952>

Lidia Lauren Elías Hardí¹  <https://orcid.org/0000-0003-1826-9799>

Manuel Perdomo Ojeda¹  <https://orcid.org/0000-0002-0869-0742>

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

*Autor para la correspondencia: atorres@instec.cu / antoniotorresvalle@gmail.com

RESUMEN

Introducción: La automatización es un recurso que se ha tornado habitual en procesos tecnológicos con alto riesgo asociado, sin embargo, continúan siendo los errores humanos los principales contribuyentes a la ocurrencia de accidentes. Un escenario que no resulta ajeno a este contexto es el de la industria bélica relacionada con el manejo de las armas de exterminio en masa por lo que es indispensable otorgarles el tratamiento que, desde el ámbito ocupacional, les corresponde.

Objetivo: Demostrar la importancia de los factores humanos en la seguridad operacional de las armas nucleares.

Métodos: La evaluación o análisis probabilista de seguridad de las instalaciones energéticas nucleares ha mostrado una utilidad tal que ha sido elevada al rango de práctica regulatoria para obtener la licencia de explotación. El trabajo muestra el empleo de estos análisis para estimar la importancia de los factores humanos en la seguridad operacional del manejo de las armas nucleares.

Resultados: El error humano contribuye un 80 % a la frecuencia de accidentes con armas nucleares. Esta amenaza, en general invisible para la opinión pública, pudiera ser más probable que los propios accionamientos intencionados de dispositivos bélicos de destrucción masiva.

Conclusiones: La inevitabilidad de los peligros asociados a las armas de exterminio en masa en el marco de los conflictos actuales hace prioritario asignar a los factores humanos el análisis que les corresponde y reforzar el estudio de los factores ocupacionales (condiciones de trabajo, ergonomía, capacitación y selección de personal, entre otros) en los ambientes laborales durante el manejo de armas de exterminio en masa.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Palabras clave: factor humano; riesgos tecnológicos; armas de exterminio en masa; ojivas nucleares; análisis probabilístico de seguridad; seguridad y salud en el trabajo

ABSTRACT

Introduction: Automation is a resource that has become common in technological processes with high associated risk, however, human errors continue to be the main contributors to the occurrence of accidents. A scenario that is not alien to this context is that of the war industry related to the handling of weapons of mass destruction, so it is essential to give them the treatment that, from the occupational field, corresponds to them.

Objective: To demonstrate the importance of human factors in the operational security of nuclear weapons.

Methods: The probabilistic safety evaluation or analysis of nuclear energy facilities has shown such usefulness that it has been elevated to the rank of regulatory practice to obtain the operating license. The paper shows the use of these analyses to estimate the importance of human factors in the operational safety of the handling of nuclear weapons.

Results: Human error contributes 80% to the frequency of nuclear weapon accidents. This threat, generally invisible to public opinion, may be more likely than the intentional triggering of weapons of mass destruction.

Conclusions: The inevitability of the dangers associated with weapons of mass destruction in the context of current conflicts makes it a priority to assign the corresponding analysis to human factors and to reinforce the study of occupational factors (working conditions, ergonomics, training and selection of personnel, among others) in the work environments during the handling of weapons of mass destruction.

Keywords: human factor; technological risks; weapons of mass extermination; nuclear warheads; probabilistic safety analysis; Occupational health and safety

Recibido: 03 de febrero de 2025

Aceptado: 31 de marzo de 2025

Editor a cargo: MSc. Belkis L. Fernández Lafargue

Introducción

La automatización es un recurso habitual en procesos tecnológicos con alto riesgo asociado, sin embargo, continúan siendo los errores humanos los principales contribuyentes a la ocurrencia de accidentes. La



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

experiencia en el sector de la industria bélica relacionada con el manejo de las armas de exterminio en masa, no resulta ajena al escenario descrito. Considerando la actualidad de los peligros asociados a este sector, así como su inevitabilidad dados los conflictos presentes, es indispensable otorgarles a estos contribuyentes humanos el tratamiento que desde el punto de vista ocupacional les corresponde.

En el XXXIV período de sesiones de la Asamblea General de la Organización de Naciones Unidas (ONU) en 1979, el Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz expresó firmes posiciones éticas y de principios sobre la posesión y empleo de las armas nucleares. “El lenguaje de las armas debe cesar”, constituye una frase que aún resuena, así como “Las bombas podrán matar a los ignorantes, a los hambrientos y a los pobres, pero no podrán matar la ignorancia, el hambre y la pobreza...” Estas posiciones aún perduran como metas para el mundo, pasados 45 años de su pronunciamiento.⁽¹⁾

La humanidad ha ignorado, en varias ocasiones, que el mundo ha estado a punto de un desastre nuclear debido a fallos técnicos o errores humanos que han activado sistemas estratégicos de lanzamiento de misiles balísticos o provocado la caída de bombas portadoras de ojivas nucleares desde bombarderos. Esta situación se ha tornado más peligrosa que los propios accionamientos intencionados de dispositivos bélicos de destrucción masiva.⁽²⁾ Ello significa que, unido a las propias amenazas reales derivadas de las tensiones políticas internacionales o conflictos locales, han aparecido nuevos factores de origen "no intencionado" que hacen aún más peligrosa la carrera armamentista.

Adicionalmente a esto, cualquier pequeño conflicto, aparentemente local, pudiera convertirse en mundial y/o muy desastroso, a partir del inmenso poder destructivo de las ojivas nucleares con las que hoy cuentan las potencias más desarrolladas (el promedio de la potencia de cada ojiva norteamericana es de 250 Kt, mientras que las rusas son de 440 Kt). Un Kilotón (Kt) equivale a 1000 tn de TNT. Una idea de las consecuencias desastrosas de la explosión de alguno de estos artefactos se puede deducir de la información mostrada en la tabla 1.^(3,4,5,6,7,8,9,10)

Tabla 1. Potencia de las bombas lanzadas en Japón en 1945

Ciudad	Potencia de la bomba (nota)	Estimado de población en el momento del bombardeo	Muertes inmediatas	% de población
Hiroshima	12,5 Kt	310 000	90 000 – 140 000	29 – 45
Nagasaki	21 Kt	250 000	60 000 – 80 000	24 – 32

Nota: Kt - Kilotón (1000 toneladas de TNT).

Fuente: Elaboración propia.

La peligrosidad de esta carrera armamentista pudiera extenderse hasta el cosmos. Durante la cumbre de la Guerra Fría, algunos “expertos” en armas de exterminio en masa, bajo el aparente pretexto de alejar los efectos de las consecuencias de las pruebas nucleares sobre el planeta, y pretendiendo mostrar una supremacía bélica consideraron la posibilidad de detonar bombas nucleares en la Luna.⁽³⁾

De este escenario se deriva la clara conclusión sobre los peligros adicionales de la carrera armamentista nuclear. En el cercano 2018, el periódico “*The New York Times*.” se hacía eco de la evaluación ordenada por el secretario de Defensa *Chuck Hagel*, a los centros de lanzamiento de misiles nucleares. El periódico demostraba con cifras alarmantes las preocupaciones detonantes de esta evaluación. Durante los 60 años correspondientes al periodo 1950-2009, hubo una media de casi un accidente grave relacionado con armas nucleares, cada siete meses. *Lloyd J. Dumas*, profesor de la Universidad de Texas, ha estudiado la posibilidad de cometer errores por parte del personal encargado de tecnologías peligrosas y los factores que pueden incrementar esa posibilidad. El profesor demostraba la preponderancia del error humano entre el 80 % de incidentes registrados en centrales nucleares. *Dumas* identificó también los factores que pueden favorecer la comisión de errores, entre ellos, el aburrimiento, el estrés, el aislamiento y el abuso de alcohol y drogas. Los datos publicados por el Pentágono para los años 1975-1990 presentan un mínimo de 20 000 militares estadounidenses que fueron apartados de forma definitiva de sus tareas nucleares durante ese período, como consecuencia del abuso de drogas. El abuso de alcohol añade otros 70 000 casos.⁽¹¹⁾ En forma de evidencias, sobre este problema, *Pazos Beceiro*⁽²⁾ apunta:

- El aburrimiento ante paneles electrónicos y pantallas de radar es causa precursora de errores, según atestiguan soldados que han cumplido estas misiones.
- La rutina de trabajo hicieron a un piloto británico disparar sobre objetivos propios un misil *Sidewinder*, durante una misión de entrenamiento.
- El sentimiento de aislamiento es común en el personal de submarinos, mientras que el estrés provoca daños fisiológicos.
- El uso de drogas, incluido medicamentos provoca daños en el nivel de atención, somnolencia y mareos, lo que puede llevar a la activación y lanzamiento accidental de estas armas. En entrevistas realizadas a soldados se ha demostrado que miles han consumido drogas durante su servicio militar.

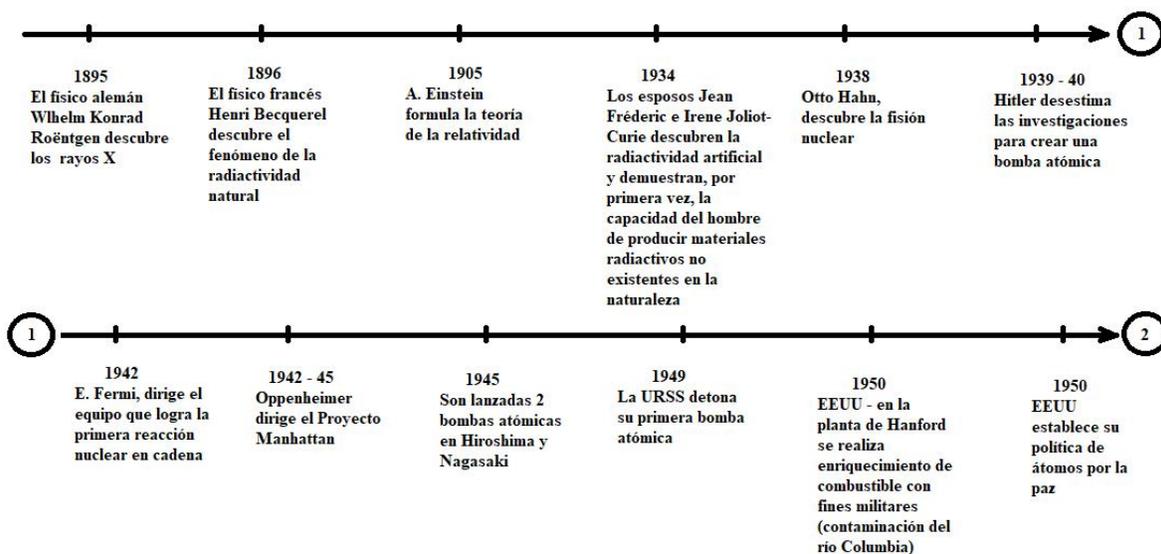
También *Calderón Garrido* en abril del 2018 hace énfasis en la necesidad de evitar accidentes e incidentes en el empleo de la tecnología militar y en la toma de decisiones, contemplando el empleo de metodologías preventivas y reactivas de control de los riesgos.⁽¹²⁾ La preocupación sobre esta temática ha llevado al ejército de los *EEUU* a preparar manuales específicos para tratar estos temas, en los cuales se incluyen la seguridad

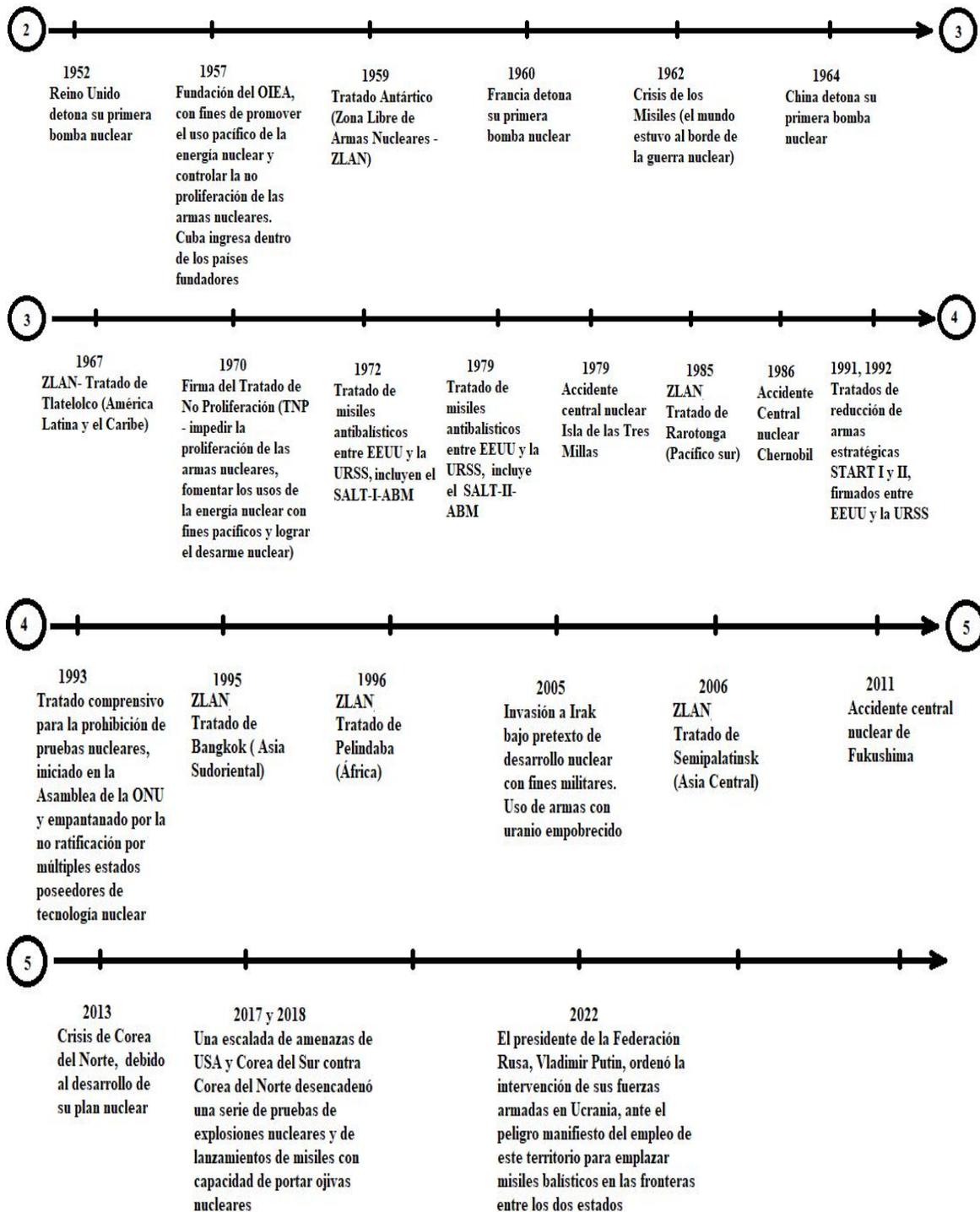
ocupacional del personal y tecnológica del equipamiento, estableciendo metodologías y formas para el tratamiento de los reportes de accidentes e incidentes y la gestión de los riesgos.⁽¹³⁾

Por otro lado, el desarrollo de los métodos de análisis probabilista de seguridad (APS) ha demostrado su utilidad para evaluar la seguridad de las instalaciones energéticas nucleares, al extremo que su aplicación ha adquirido el rango de regulatorio. Los resultados de estos análisis no solo tienen justificación regulatoria, sino que los mismos se emplean para realizar procesos de optimización del diseño y la explotación de las centrales nucleares.^(14,15) Los APS clasifican en el área de los métodos prospectivos de análisis de riesgo, mientras que el acopio histórico de incidentes y su análisis corresponde a los métodos reactivos.^(14,15)

Los APS emplean, de manera sistemática, los métodos de árboles de eventos y árboles de fallos, para modelar las secuencias accidentales que se derivan de los análisis de seguridad en dichas instalaciones. La certeza de los modelos de riesgo generados por el APS ha sido comprobada en la práctica, dado que todas las secuencias accidentales de los eventos ocurridos en las centrales nucleares de *Three Mile Island* y *Fukushima*, habían sido previstas en APS previos a los accidentes, realizados sobre dichas tecnologías.⁽¹⁶⁾ En el caso del reactor de *Chernóbil*, los estudios de seguridad más profundos sobre la tecnología del reactor de canales refrigerado con agua y moderado con grafito (*RBMK*, por sus siglas en ruso), fueron conducidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) posterior al accidente.⁽¹⁷⁾

Algunos hitos asociados al avance científico y sus consecuencias bélicas han sido esbozados en la siguiente cronología del desarrollo sobre la radiactividad (figura 1).⁽²⁾





Fuente: Pazos Beceiro.⁽²⁾

Fig. 1. Cronología de hitos fundamentales del desarrollo de la radiactividad.

Como se aprecia, la cronología presentada incluye acontecimientos entre 1895 al 2022. Se han adicionado, por su importancia para este estudio, los accidentes más trascendentes ocurridos en centrales nucleares con fines



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

energéticos. Aunque no presentados en la cronología, pueden destacarse los ensayos nucleares entre 1970 y 2000 de países como India, Pakistán y Corea del Norte. Debe aclararse que, las zonas libres de armas nucleares (ZLAN), que disponen igualmente de la concertación de salvaguardias nucleares, establecen una prohibición completa del arma nuclear dentro de la zona geográfica de aplicación. Adicionalmente, Mongolia se ha autoproclamado estado libre de armas nucleares. Las ZLAN abarcan hoy más del 50 % de la superficie de la Tierra (excluidos los mares y océanos).

Como demostración del incremento del peligro por fallos técnicos y errores humanos, en lo que respecta al lanzamiento accidental de ojivas nucleares o problemas de seguridad en instalaciones nucleares de tipo bélico, se aportan las siguientes evidencias.⁽²⁾ Estos datos constituyen fuente importante para los cálculos que se acometen en esta investigación (tabla 2).



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tabla 2. Datos de evidencias de fallos y errores relacionados con armas nucleares

Fecha	Fallos y errores
Ojivas activadas	
Febrero 1958	En <i>Greenham Common Airbase</i> del Reino Unido un avión B-47 explotó a escasa distancia de un parqueo de este tipo de aviones cargados con armas nucleares. No explotó ninguna de las ojivas.
5 de febrero de 1958	El artefacto nuclear llamado <i>MARK 15</i> de 3500 kg cayó accidentalmente desde un B-47, sobre las costas cercanas a Georgia. Era una bomba H activada completamente con su corazón de fusión y su detonador de Pu. Nunca apareció y no se conoce porque no explotó. Hubiese vaporizado a los habitantes de la isla de <i>Tybee</i> mientras dormían. Su potencia era 10 veces superior a la bomba de <i>Hiroshima</i> .
11 de marzo de 1958	El B-47 volaba a 4000 metros de altitud portando una bomba <i>MARK 6</i> de 3200 kg de peso, con un arnés fijador desajustado. El navegante <i>Bruce Kulka</i> intentó resolver la situación, pero equivocó el botón. La bomba saltó al vacío. Tampoco hubo activación atómica. Sólo detonaron las 3 tn de dinamita de explosivo convencional que portaba. La bomba de 30 Kt era una versión 2 de la lanzada en <i>Nagasaki</i> .
5 de octubre de 1960	Se produjo en el Comando de Defensa Aeroespacial de Norteamérica (<i>NORAD</i> , por sus siglas en inglés), una falsa alarma sobre supuesto ataque, ocasionada por falla de una computadora al suprimir dos ceros al equipo de un radar. En realidad, estaba detectando el reflejo de la luna a 250 mil millas.
9 de noviembre de 1979	Falsa alarma en supercomputadoras de <i>NORAD</i> que se extendió en varias bases de la Fuerza Aérea alrededor del mundo, ocasionó que los bombarderos del Pacífico fueran puestos en el aire con armamento nuclear.
10 de enero de 1984	En la base aérea <i>Warren</i> de <i>Cheyenne, Wyoming</i> , se recibió un mensaje de que un misil balístico intercontinental <i>Minuteman III</i> iba a ser lanzado de su silo. Para evitar el lanzamiento se colocó un carro de combate sobre el silo. La falsa información se debió a un fallo de computadora.
1997	Georgia. Accidente radiológico. Los soldados sufrieron envenenamiento por radiación y quemaduras. Finalmente, se remontaron a fuentes de entrenamiento abandonadas, olvidadas y sin etiquetar después de la disolución de la Unión Soviética. Uno era un perdigón de 137 Cs en el bolsillo de una chaqueta compartida que emitía aproximadamente 130.000 veces el nivel de radiación de fondo a una distancia de un metro (3,3 pies). ⁽²⁰⁾
Febrero de 2003	Instalación Y-12, <i>Oak Ridge, Tennessee</i> . Explosión del recipiente de procesamiento. Complejo de seguridad nacional Y-12. Durante la prueba final de un nuevo método de procesamiento de uranio sin sal, hubo una pequeña explosión seguida

Fecha	Fallos y errores
	<p>de un incendio. La explosión ocurrió en un recipiente sin ventilación que contenía calcio, agua y uranio empobrecido sin reaccionar. Una reacción exotérmica en el recipiente generó suficiente vapor para reventar el recipiente. Esta pequeña explosión rompió su guantera, lo que permitió que entrara aire y quemara un poco de polvo de uranio suelto. Tres empleados resultaron contaminados. <i>BWXT Y-12</i> (ahora <i>B&W Y-12</i>), una sociedad de <i>Babcock & Wilcox</i> y <i>Bechtel</i> recibió una multa de \$ 82 500 por el accidente. ⁽²⁰⁾</p>
<p>8 de agosto de 2019</p>	<p>Campo de pruebas de la Armada Central del Estado cerca de <i>Nyonoksa</i>. Destrucción explosiva de una fuente de energía nuclear Artículo principal: Accidente de radiación de <i>Nyonoksa</i>. Según la versión presentada por funcionarios rusos, fue el resultado de una prueba fallida de una "fuente de energía isotópica para un motor de cohete de combustible líquido". El experto en no proliferación <i>Jeffrey Lewis</i> y el compañero de la Federación de Científicos Estadounidenses <i>Ankit Panda</i> sospechan que el incidente fue el resultado de una prueba del misil de crucero <i>Burevestnik</i>. Sin embargo, otros expertos en control de armas cuestionaron las afirmaciones; <i>Ian Williams</i> del Centro de Estudios Estratégicos e Internacionales y <i>James Acton</i> del <i>Carnegie Endowment for International Peace</i> expresaron su escepticismo sobre las capacidades financieras y técnicas de Moscú para utilizar el arma, mientras que <i>Michael Kofman</i> del <i>Wilson Center</i> concluyó que la explosión probablemente no estaba relacionada con <i>Burevestnik</i>, sino a la prueba de otra plataforma militar. Según <i>CNBC</i>, los rusos estaban tratando de recuperar un misil del lecho marino que se perdió durante una prueba fallida anteriormente. ⁽²⁰⁾</p>
<p>Ojivas desactivadas</p>	
<p>5 de agosto de 1950</p>	<p>Un bombardero B-29 de la <i>Suisun Air Force</i> en <i>Fairfield</i>, California, portador de un arma nuclear sin su centro fisible, se quemó cerca de un parqueo de tráileres que albergaba 200 familias, e hizo explotar una carga convencional de 6000 kg, lo que ocasionó 18 muertos y 60 heridos.</p>
<p>22 de mayo de 1957</p>	<p>Un arma nuclear no activada cayó desde un B-36 a una altura de 1700 pies, explotó y quedó totalmente destruida, dejando un cráter de 25 metros de diámetro y 12 de profundidad.</p>
<p>25 de septiembre de 1959</p>	<p>Un avión P-5M de la Marina de los EEUU que llevaba una bomba de profundidad no activada, se estrelló en aguas aledañas a <i>Off Whidbey Island</i>. Esa arma nunca fue recuperada.</p>
<p>17 de enero de 1966</p>	<p>En Palomares, España, un bombardero B-52 cargado con cuatro bombas H chocó con un tanquero KC-135.</p>

Fecha	Fallos y errores
21 de enero de 1968	Un avión B-52 se estrelló en <i>Thule</i> , EEUU, con bombas nucleares a bordo. No hubo detonación nuclear.
19 de septiembre de 1980	En <i>Damascus, Arkansas</i> , hicieron explosión vapores de combustible de un misil intercontinental Titan II en su silo de lanzamiento, lo que produjo la voladura de una puerta de hormigón armado de 740 toneladas. Provocaron 1 muerto y 24 heridos.

Fuente: Pazos Beceiro⁽²⁾ y lista de accidentes militares.⁽²⁰⁾



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Partiendo de esta situación, esta investigación se ha propuesto como objetivo general demostrar la importancia de los factores humanos en la seguridad operacional de las armas nucleares. Mientras que se ha formulado como objetivo específico: Fundamentar matemáticamente la posibilidad de emplear la metodología de análisis de riesgo en los estudios de seguridad del uso de las armas de exterminio en masa.

Métodos

Desafortunadamente, la información puntual sobre falsas alarmas, errores humanos y fallos de equipos tecnológicos ocurridos durante el desarrollo armamentista nuclear, está muy ligada a fuentes limitadas e informes que han sido escasamente desclasificados por los diferentes países durante décadas de enfrentamiento.^(2,11,20,21)

Es lógico que los acontecimientos recientes demoren en su desclasificación, y se disponga de más evidencias de incidentes pasados. Sin embargo, una información genérica más actualizada y sin aportar detalles, la ofrecen fuentes más recientes. Siguiendo el razonamiento del diario “*The New York Times*” en un artículo del 2018,⁽¹¹⁾ la frecuencia de ocurrencia de accidentes graves relacionados con armas nucleares en los últimos 60 años (entre el 1959 y el 2009) significó, conservadoramente la cifra de dos accidentes por año. Expertos en errores humanos han demostrado la preponderancia de estos contribuyentes en dichos accidentes, reconociendo como detonantes al aburrimiento, el estrés, el aislamiento y el abuso de alcohol y de drogas.

Si a ello se suma el reconocimiento por la misma fuente de que, más de 90 mil soldados estadounidenses fueron apartados de sus tareas en instalaciones nucleares entre 1975 y 1990 por consumo de drogas y alcohol, téngase una idea clara de lo optimistas que pueden resultar los datos aportados en forma de evidencias aisladas (tabla 2).

Por todo ello, se ha tomado, como una consideración válida, incrementar un orden de magnitud, a modo de estudio de sensibilidad, a todos los cálculos realizados en esta investigación, los cuales han partido de los datos aislados que constituyen fuentes de este análisis probabilista.

Resultan bases de datos cuantitativas para la investigación los aportados en la tabla 2. Los mismos se emplean para determinar la frecuencia de iniciadores de accidentes con armas nucleares, así como para calcular la probabilidad de fallo de los sistemas mitigadores.⁽²⁾

Como métodos específicos de esa investigación, se incluyen los árboles de eventos, árboles de fallos, tratamientos de datos estadísticos de fallos de equipos y estimación de errores humanos.



Esta obra está bajo una licencia

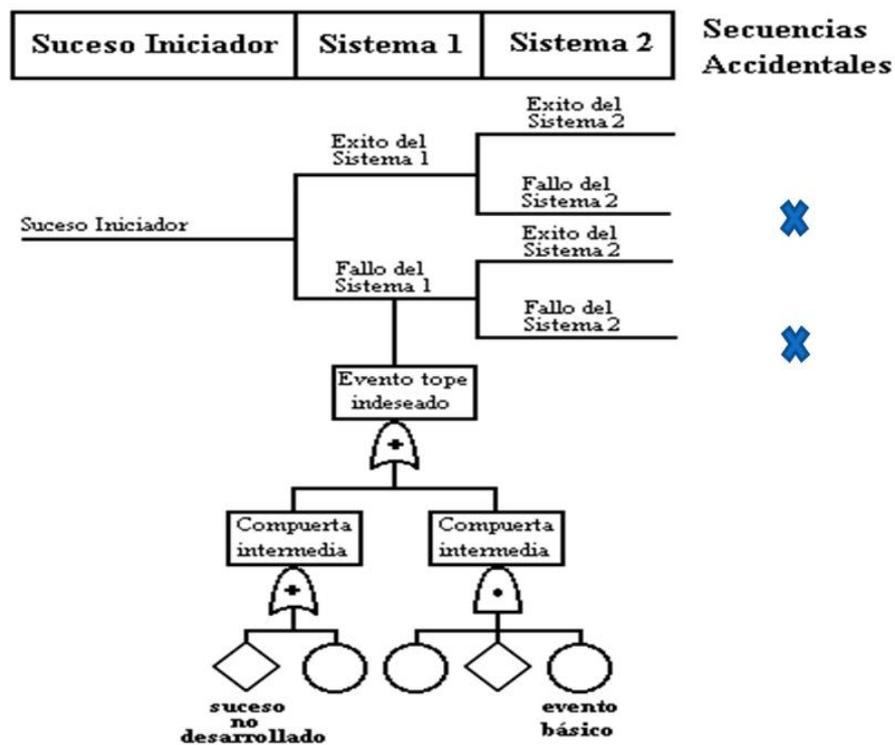
[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Una representación sintetizada de los dos primeros métodos y sus vínculos, se ilustra en la figura 2.

Con el árbol de eventos se delimitan las secuencias accidentales, mientras que con el árbol de fallos se modelan los fallos de los sistemas que mitigan los sucesos iniciadores. Las secuencias accidentales son el resultado de la ocurrencia del iniciador y de las combinaciones de éxitos o fallos de los sistemas frontales necesarios para su mitigación. En la figura se señalan con cruz (X) las secuencias que concluyen en daño del objetivo estudiado.^(14,15)

Los árboles de fallos son representaciones gráficas de las combinaciones booleanas de eventos básicos. Las probabilidades de fallo de los eventos básicos se calculan a partir de la cuantificación de la contribución de la cantidad de fallos sobre el total de población evaluada. Estos eventos pueden ser errores humanos, cuya probabilidad se cuantifica partiendo de valores de barrido, los que se obtienen de tablas que consideran características ergonómicas de las interfaz hombre – máquina.^(14,15)

Un ejemplo de factores que contribuyen a estos errores y que aparecen entre sus causas, se han enunciado en este artículo (aburrimiento, estrés y aislamiento). Las drogas y el alcohol son facilitadores que disminuyen la atención y la responsabilidad por las tareas.^(2,11)



Fuente: Salomón y otros.⁽¹¹⁾

Fig. 2. Representación de los vínculos de los métodos de árbol de eventos y árbol de fallos.

En algunos casos la cuantificación de los fallos de los sistemas mitigadores corresponde directamente a probabilidades de sucesos básicos, cuestión que caracteriza a los casos que se ejemplifican en este artículo. Esto constituye una simplificación del modelo, debido a la carencia de información para realizar modelaciones detalladas.

Finalmente, la cuantificación de cada secuencia accidental es el resultado de la multiplicación de la frecuencia del suceso iniciador por las probabilidades de fallo de los sistemas mitigadores que participan en la secuencia (sólo se consideran las probabilidades de los sistemas mitigadores fallados mientras que los éxitos, dada su cercanía al valor 1, se desprecian). Las secuencias de interés son aquellas que culminan en daño del objeto estudiado. El resultado para todo el árbol de evento es la suma de todas las frecuencias de daño de las secuencias accidentales con daño.

La realidad es que, un resultado de más interés práctico es la cuantificación de las secuencias partiendo de la multiplicación booleana de todos los árboles de fallo de los sistemas mitigadores, lo que daría la posibilidad de descubrir dependencias entre los sistemas frontales. De manera similar, esta aproximación debería usarse en la suma de las secuencias de daño del árbol de evento.

Debe aclararse que, dificultades relativas a la modelación detallada de cada sistema mitigador, por falta de datos, obligan a la simplificación propuesta en el método, la cual ha sido aplicada en esta investigación.

Resultados

De acuerdo con los datos disponibles en la tabla 2, varios eventos iniciadores podrían postularse en este estudio, por ejemplo, accidente aéreo con armas nucleares, lanzamiento accidental de misiles balísticos y mala gestión de fuentes radiactivas, entre otros. Por la posibilidad de desarrollo ulterior de una evaluación probabilista de seguridad, se ha seleccionado el primero de los eventos mencionados.

Para ilustrar el empleo del árbol de eventos se ha tomado el caso de un accidente aéreo de un bombardero B-52 portador de bombas nucleares. A través de éste, se ha hecho una abstracción de las probables secuencias accidentales que pueden ocurrir en dicho caso lo que, unido a la cuantificación de la probabilidad de fallo de los sistemas mitigadores, ha permitido ilustrar como pueden ser empleadas estas herramientas cuantitativas en la evaluación de los riesgos de accidente con armas nucleares. Recuérdese que, dadas las evidencias aportadas en este artículo^(2,20) y reportes del diario “*The New York Times.*”,⁽¹¹⁾ se ha decidido, a modo de estudio de sensibilidad, incrementar un orden de magnitud, a todos los cálculos realizados durante el ejercicio,



Esta obra está bajo una licencia

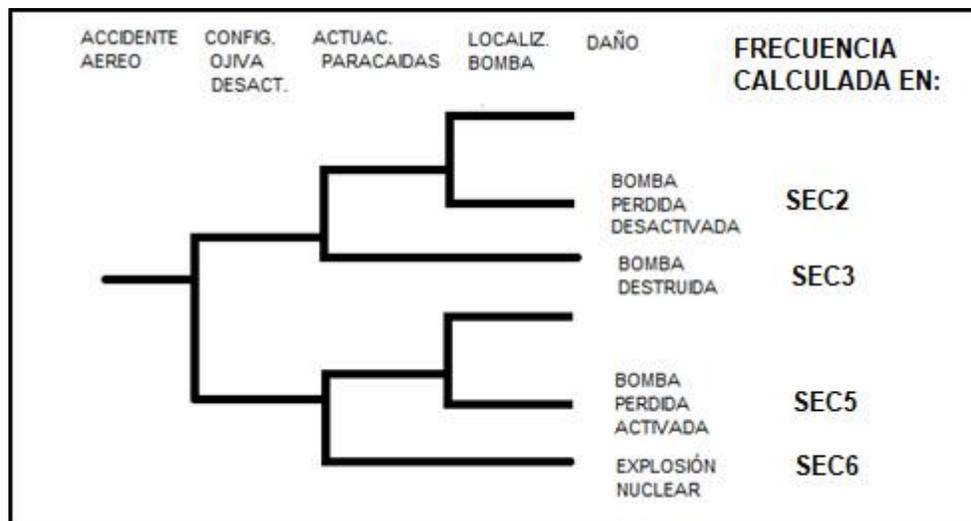
[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

considerando la escasez de evidencias sobre fallos tecnológicos y errores humanos, que constituyen fuentes para este análisis. De esta forma, las cuantificaciones muestran resultados estadísticos (que corresponden exactamente a los valores obtenidos desde las evidencias – tabla 2) y resultados corregidos (relativos a estudios de sensibilidad).

Modelación de situación similar a la descrita en el accidente de Palomares, España.

El 17 de enero de 1966, en Palomares España, un bombardero B-52 cargado con cuatro bombas H chocó con un tanquero KC-135. De las cuatro bombas, dos hicieron explosión convencional esparciendo grandes cantidades de Pu-239 en los campos de la localidad. Los paracaídas que debían detener la caída de las bombas no se abrieron. Como resultado, en una operación de limpieza sin precedentes, tropas norteamericanas rasparon 5 cm de la superficie de un amplio terreno, lo guardaron en silos y lo enviaron a los *EEUU*. Aún hoy, se mantienen áreas cercadas donde no se puede sembrar ni pastar, pues cerca de 40 hectáreas quedaron contaminadas con Pu.^(2,20)

El árbol de eventos que representa esta situación ha sido ilustrado en la figura 3. En ella se postulan como sistemas frontales la configuración de ojiva desactivada, la actuación del paracaídas de la bomba y su localización. Cada combinación de fallos en su respectiva secuencia conduce a diferentes secuencias de daño (estado de daño), las que han sido identificadas bajo la columna Daño. El estado de daño aporta elementos para postular el éxito y fallo de los sistemas mitigadores.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3. Árbol de eventos para caso de accidente aéreo con lanzamiento accidental de bombas nucleares.

Los datos utilizados para el cálculo de frecuencia del iniciador y de los fallos de cada sistema mitigador se presentan a continuación.

ACCIDENTE AEREO: Cálculo de Frecuencia de iniciador:

- Entre 12 y 24 B-52 volaban las 24 horas durante la cúspide de la Guerra Fría, una media de 18 aviones B-52 diarios en el año (considerando que todos portaban armas nucleares),⁽²⁾ lo que equivale a 6570 aviones/año (Naviones = 18 aviones/día * 365 día/año = 6570 aviones/año).
- De acuerdo con la tabla 2 ocurrieron 3 accidentes de este tipo en 10 años, 0,3 acc/año.
- De donde $Frec = 0,3 \text{ acc/año} / (6570 \text{ aviones/años})$, lo que representa una frecuencia de $Frec = 4,56 \text{ E-5 acc/avión-año}$.

Barreras o sistemas frontales:

- Configuración de ojiva desactivada (CONFIG. OJIVA DESACT.): esta contribución se le atribuye a un error humano, suponiendo los datos extraídos de análisis de barrido o filtrado, método comúnmente empleado en análisis de seguridad de plantas nucleares.^(14,15)
- Error de omisión “Procedimientos escritos que no se usan” $P_{omis} = 0,05$
- Errores de comisión con mando local considerando error de identificación “Identificación clara no ambigua ubicado aparte de dispositivos similares” $P_{ident} = 0,001$
- Error de chequeo “Sólo indicador digital” $P_{cheq} = 0,001$
- Todo lo cual resulta en una probabilidad de error humano de:

$$PEH = 0,05 + (0,001 * 0,001) = 5E-2$$

Actuación de sistema de paracaídas (ACTUAC. PARACAIDAS)

Para el sistema de paracaídas se tomará la contribución de las fallas reportadas de no apertura de los dispositivos de paracaídas en los casos reportados. Se consideran 4 bombas por avión en 18 aviones diarios durante un año, lo que aporta la población de 26280 bombas en un año, o 262800 en 10 años. Si se considera que existen 3 evidencias de fallos en ese tiempo (dos del accidente de Palomares y otra del 22/5/57), y considerando que todas las bombas fueron probadas (262800 demandas) al menos una vez, respecto al éxito de sus sistemas de paracaídas, se tiene que $P=3/262800= 1,14E-5$.

Sistema de localización de bomba (LOCALIZ. BOMBA)



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El sistema de localización de la bomba puede ser un dispositivo emisor de señales. En este caso, existen evidencias de fallos también entre los datos reportados. Tomando los datos de población de bombas monitoreadas similares a la pleca anterior, significa que fueron monitoreados al menos una vez 262800 bombas en 10 años (considerando que todas las bombas tienen emisor para localización). Dado que existe una evidencia de no localización (ver caso del 25/09/59), se tiene que: $P = 1/262800 = 3,8E-6$.

De acuerdo con la configuración de secuencias accidentales en el árbol de eventos de la figura 3, estos datos se acoplan (sólo se cuantifican las secuencias que conducen a daño) de la siguiente forma (tabla 3).

Tabla 3. Cálculo de frecuencia de daño en secuencias del árbol de eventos

Secuencia No. (Consecuencia)	Suceso Iniciador ¹ (Frecuencia estadística-FSIe, Corrección por incertidumbre - FSIc)	Barreras ¹ (Probabilidad de fallo estadística PFe, Probabilidad de fallo corregida por incertidumbre PFc)	Frecuencia anual de la secuencia ¹ Según estadística Fe Valores corregidos Fc
Secuencia 2 (Bomba perdida desactivada)	FSIe = 4,56 E-5, FSIc = 5E-4	Localización de bomba. PFe = 3,8E-6, PFc = 4E-5	Fe = 1,7E-10 año ⁻¹ Fc = 2E-8 año ⁻¹
Secuencia 3 (Bomba destruida)	FSIe = 4,56 E-5, FSIc = 5E-4	Actuación de paracaídas. PFe = 1,14E-5 PFc = 1E-4	Fe = 5E-10 año ⁻¹ Fc = 5E-8 año ⁻¹
Secuencia 5 (Bomba perdida activada)	FSIe = 4,56 E-5, FSIc = 5E-4	Configuración ojiva desactivada. PFe = 5E-2, PFc = 5E-1 Localización de bomba. PFe = 3,8E-6, PFc = 4E-5	Fe = 8,66E-12 año ⁻¹ Fc = 1E-8 año ⁻¹
Secuencia 6 (Explosión nuclear)	FSIe = 4,56 E-5, FSIc = 5E-4	Configuración ojiva desactivada. PFe = 5E-2, PFc = 5E-1 Actuación de paracaídas. PFe = 1,14E-5 PFc = 1E-4	Fe = 2,5E-11 año ⁻¹ Fc = 2,5E-8 año ⁻¹

¹ Las cuantificaciones muestran resultados estadísticos (que corresponden a los valores obtenidos desde las evidencias – tabla 2) y resultados corregidos (relativos a estudios de sensibilidad).

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

La frecuencia de ocurrencia de las secuencias con daño resulta matemáticamente despreciable, sin embargo debe considerarse que han sido calculadas con valores muy optimistas, ya que solo se dispone de los pocos datos recopilados en la literatura de referencia.^(2,20) A ello se añade que no han sido desarrollados los árboles de fallo de cada sistema frontal, lo que provoca que se mantengan invisibles, entre otros datos, las dependencias entre los sistemas mitigadores, así como los datos de sucesos básicos de cada árbol de fallo de sistemas. La imposibilidad de identificar explícitamente todos los contribuyentes relacionados con errores humanos entre los sucesos básicos, no niega su existencia en los modelos probabilistas desarrollados. La presencia de tales contribuyentes está respaldada ampliamente por las experiencias en el diseño de modelos probabilistas de secuencias accidentales y de sistemas,^(14,15,16) así como por la composición de los datos reactivos disponibles, los que han sido referenciados en el artículo.^(2,11,20)

Dadas las demostraciones (tabla 2) de la ocurrencia de secuencias completas como la de Bomba perdida desactivada (secuencia 2) de la que se dispone de una evidencia (evento del 25/09/1959); la secuencia de Bomba destruida (secuencia 3), lo que corresponde a dos de las bombas del accidente de Palomares (17/01/1966) y una correspondiente a lanzamiento accidental (evento del 22/05/1957); así como la secuencia de Bomba perdida con ojiva activada (secuencia 5), de la que se dispone de otra prueba (evento del 05/02/1958); se considera que los valores calculados son solo ilustrativos y representan, desde el punto de vista de sus consecuencias, situaciones potencialmente peores que las descritas.

Todo ello se debe a que esta primera aproximación del cálculo del riesgo de accidente con armas nucleares, necesita una visión más profunda de la evaluación. Es necesario aclarar que, los cálculos pueden ser engañosos cuando se dispone de evidencias de eventos de baja frecuencia, pero con consecuencias catastróficas.⁽²²⁾

Esta situación se conoce en estadística como “Cisne Negro”. Un autor⁽²²⁾ enfatiza que, la distribución normal o de campana no es aplicable, cuando han ocurrido eventos catastróficos con frecuencias muy bajas (ello significa que dichos eventos no son predecibles con dichas distribuciones, pues están fuera del rango de dispersión de la distribución). En esta distribución estadística (que ha sido ampliamente aceptada y aplicada a eventos probabilistas), los eventos se distribuyen con alta probabilidad en su centro, y más baja cuando sus valores se alejan de la media (con forma de campana). Estadísticamente, esto se representa como una probabilidad media con una sigma de dispersión.

Un ejemplo de catástrofe tecnológica, tratado inicialmente para la opinión pública, como “Cisne Negro” fue el accidente nuclear de Fukushima. Aunque la investigación posterior desmintió esta afirmación, las autoridades



nucleares japonesas, en primera instancia, plantearon que lo ocurrido a las unidades de la central nuclear de Fukushima coincidía con un evento tipo “Cisne Negro”,⁽²³⁾ ya que el accidente representaba una desviación estadística respecto a los datos tenidos en cuenta en sus cálculos. Según los argumentos iniciales, los expertos que calcularon la cota del muro de contención contra tsunamis durante el diseño de la planta nuclear, valoraron la altura de una ola de siete metros, correspondiente a una frecuencia de tsunami de uno en 100 años ($1E-2$ año⁻¹). El tsunami registrado correspondió al de uno en 10 mil años ($1E-4$ año⁻¹), con una ola de más de 14 metros. Sus consecuencias, en un accidente tecnológico nuclear de origen natural, significaron la pérdida de las 4 unidades de la planta de Fukushima, así como un daño colateral de miles de hectáreas de territorio irradiado, el cual ha sido cerrado para fines agrícolas y de asentamientos humanos por miles de años (recuérdese consecuencias similares en el accidente de Palomares). Como enseñanza del accidente de Fukushima, la regulación nuclear para todo el mundo cambió sus patrones y hoy, todas las plantas nucleares del planeta han rediseñado sus capacidades para resistir eventos similares al acaecido en la planta nuclear japonesa. Este comportamiento es, precisamente el recomendado por Taleb en su libro,⁽²²⁾ para enfrentar estas desviaciones estadísticas.

Debe señalarse que la realidad, de acuerdo a la información ofrecida en la propia referencia,⁽²³⁾ hubiese permitido valorar a los expertos japoneses que la probabilidad de un sismo con tsunami de gran magnitud era previsible para las condiciones de Japón, partiendo de los registros históricos de ocurrencia de eventos de este tipo. La investigación científica profunda del accidente permitió determinar que fallos concretos relacionados con el incumplimiento de principios básicos de la seguridad, como los fundamentales de gestión sobre independencia del órgano regulador y explotador y cultura de la seguridad, así como los técnicos generales de empleo de prácticas de eficacia comprobada y consideración del factor humano, entre otros, conllevaron al accidente de consecuencias catastróficas. En definitiva, la confluencia de intereses económicos, unidos al incumplimiento de los principios básicos de seguridad, fueron los facilitadores del accidente.

Desafortunadamente, al igual que cuando la economía suplanta a la seguridad, se priorizan fines políticos y publicitarios, no se puede hablar seriamente de estos principios. El accidente del *Challenger*, provocado por el endurecimiento (pérdida de flexibilidad) de las juntas tóricas (junta mecánica en forma de toro) de uno de los cohetes propulsores, ante las bajas temperaturas ambientales conllevó al escape de combustible (hidrógeno y oxígeno líquidos), lo que destruyó al trasbordador. Esta falla potencial había sido avisada con antelación por científicos e ingenieros al personal de la *NASA*, pero fue desoída ante la demanda del gobierno de los *EEUU*, que quería dar un golpe publicitario en la campaña para la reelección del entonces presidente Ronald Reagan. El Premio Nobel de física Richard Feynman, investigador y descubridor de la causa del accidente, obligó a la



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Comisión Rogers (encargada de la investigación) a incorporar la frase “para una tecnología exitosa, la realidad debe prevalecer por sobre las relaciones públicas; la naturaleza no puede ser engañada.”⁽²⁴⁾ Está claro que factores humanos y la no implementación de prácticas de eficacia comprobada, entre otros, fueron principios de seguridad incumplidos en este caso. Adicionalmente a lo descrito, es evidente el empleo reiterado de los trasbordadores con fines bélicos. En este sentido, una detallada lista de misiones militares con trasbordadores aparece respaldada por la referencia FDRA- Fuerza Aérea.⁽²⁵⁾

Retornando al fenómeno del “Cisne Negro”, más aplicable a estos fines, dado el poco sentido práctico de los principios básicos de seguridad en estos escenarios bélicos,^(24,25) se puede asegurar lo siguiente: Tres de las secuencias descritas en el árbol de eventos de la figura 3 (secuencias 2, 3 y 5), corresponden a eventos respaldados por evidencias, todas de baja frecuencia pero con consecuencias catastróficas, lo cual corresponde al criterio de eventos tipo “Cisne Negro.”⁽²²⁾ Está claro que, llevado al campo regulatorio, la única solución factible es la prohibición inmediata de toda tecnología relacionada con armas de exterminio en masa. Como comentario adicional puede aportarse que, en dos ocasiones, fallos “inexplicables” (eventos 05/02/1958 y 11/03/1958 de la tabla 2), afortunadamente a favor de la humanidad, no permitieron que se completara la secuencia 6, correspondiente a una explosión nuclear.

Es necesario reflexionar sobre la responsabilidad moral de los científicos que participan en el desarrollo y producción de armas nucleares, así como sus motivaciones, principios éticos y conciencia respecto a esta actividad. Un caso evidente lo es la frase que Robert Oppenheimer, Director del Proyecto *Manhattan*, cuando expresaba durante el desarrollo del proyecto: “Cuando usted ve algo que es técnicamente dulce, usted sigue adelante y lo hace.”⁽²⁾

Esta aseveración resulta ambigua y peligrosa pues justifica la falta de restricciones morales, legales, políticas y sociales que han acompañado a las investigaciones científicas nucleares en los últimos tiempos.

Los apologistas de tales desarrollos centraron sus argumentos más en imperativos tecnológicos que en las normas morales, que deben guiar la conducta humana.

El crecimiento sin límites ni control de la tecnología han hecho desbordar los peligros y las amenazas por encima de los beneficios, y dentro de ella la tecnología militar carece de precedentes. Se ha creado una cultura científica que lleva dentro de sí el germen de su propia destrucción. Desafortunadamente, la ciencia y la tecnología se han convertido en fuerzas destructivas en lugar de factores creativos, y las estadísticas sobre actividades científicas así lo prueban. El Dr. Ro McCoy, ex copresidente de la Internacional de Médicos contra las armas nucleares, manifiesta: “... más del 50 % de los científicos del mundo se han dedicado al desarrollo de

la tecnología y manufactura de armamentos, mientras que menos del 1 % lo han hecho para las investigaciones del mundo en desarrollo.”⁽²⁾

Otro problema, también fuera de control, es la ambigüedad de los términos cuando se habla de armas nucleares tácticas y estratégicas. Supuestamente, un arma táctica tiene un poder destructivo controlado, y tendría un poder de disuasión, en el marco de un conflicto bélico. Rusia, en el año 2022 amenazó con el empleo de este tipo de armamento si sentía amenazada su seguridad nacional durante el conflicto con Ucrania. El problema es que una ojiva nuclear de tipo táctico actual tiene una fuerza explosiva equivalente a las cargas detonadas en Hiroshima y Nagasaki (tabla 1), ya que su potencial está entre 10-100 Ktn, mientras que un arma estratégica está entre 500-800 Ktn. Como se aprecia, las consecuencias destructivas podrían irse de control, así como la escalada generada posterior al empleo táctico de armas nucleares.⁽²⁶⁾

Una vez analizado todo el contexto que acompaña al accidente modelado, así como los casos diversos analizados en el documento, se corrobora la elevada contribución de los errores humanos en todos los eventos analizados referidos al uso de la tecnología nuclear en su ámbito bélico. Por ello se refuerza el criterio de qué, dada la inevitabilidad de estos peligros en el contexto internacional actual, es indispensable que los conocimientos relativos al control de los riesgos operacionales desde el matiz asociado al rol humano, sean aplicados con el máximo rigor posible. Ello debe incluir los aspectos relativos al estudio de las condiciones de trabajo, la ergonomía, la capacitación y la selección de personal, entre otros, localizando aquellos aspectos en los que se detecten posibilidades de aburrimiento, rutina, estrés, aislamiento y empleo de alcohol y drogas.

En esta afirmación, se conjugan los criterios resumidos por Pazos Beceiro, sobre los contribuyentes causantes de los errores humanos,⁽²⁾ los datos resultantes de las investigaciones publicadas por el periódico “*The New York Times*” sobre la situación ocupacional en los enclaves de misiles,⁽¹¹⁾ las recomendaciones de Calderón Garrido sobre la necesidad de empleo de metodologías de evaluación de riesgo durante el uso de la tecnología militar,⁽¹²⁾ la preocupación sobre el tema expresada en la preparación por el ejército de los *EEUU* de manuales sobre seguridad ocupacional y tecnológica para la gestión de riesgos bélicos,⁽¹³⁾ la demostración de la negación de los conocimientos de expertos cuando prevalecen intereses económicos o políticos,⁽²⁴⁾ y la carencia de restricciones morales que han manifestado muchos científicos apologistas del desarrollo de armas de exterminio en masa.⁽²⁾

Conclusiones

- En el documento se combinan métodos reactivos (datos sobre eventos ocurridos) y prospectivos (métodos de evaluación probabilista) de análisis de riesgo, los que demuestran la importancia de los errores humanos en la seguridad operacional de armas nucleares.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- El resultado, matemáticamente despreciable de las frecuencias anuales de las secuencias accidentales ilustradas, no debe ser tomado como evidencia concluyente de la imposibilidad de ocurrencia de alguna de ellas. El efecto del “Cisne Negro” se advierte, como una manifestación palpable de eventos de baja frecuencia con consecuencias muy graves, en prácticamente todas las secuencias mostradas.
- Dado que los errores humanos son los principales elementos a controlar, es fundamental que, mientras no se consiga la eliminación definitiva de los armamentos nucleares, se refuerce el estudio de los factores ocupacionales (condiciones de trabajo, ergonomía, capacitación y selección de personal, entre otros) que caracterizan a los ambientes de trabajo durante el manejo de armas de exterminio en masa.

Pueden considerarse conclusiones derivadas del contexto internacional en que vivimos, las siguientes afirmaciones:

- El peligro de accidente con armas atómicas debido a fallos de equipos y errores humanos, comunes en las instalaciones poseedoras de tal tecnología es un tema de gran actualidad, a la par que, ante la ocurrencia de estos casos se elevan las tensiones en la arena internacional.
- La racionalidad, la ética y la comprensión definitiva por todas las naciones hacia la eliminación de los arsenales nucleares son las únicas alternativas para sobrevivir al posible holocausto

Referencias bibliográficas

1. Castro Ruz F. “Discurso pronunciado ante el XXXIV Período de Sesiones de la Asamblea General de la ONU”. Nueva York, 12-10-1979. Editorial Ciencias Sociales. Edición Especial. La Habana. 1979 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <http://www.fidelcastro.cu/es/discursos/discurso-pronunciado-en-el-xxxiv-periodo-de-sesiones-de-la-asamblea-general-de-la>
2. Pazos Beceiro C. “El átomo en las manos del diablo”, Editorial Félix Varela, La Habana, 2000 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://isbn.cloud/9789597071532/el-atomo-en-las-manos-del-diablo/>
3. Diario La República, Sección Ciencia, El plan secreto de EE. UU. para detonar una bomba nuclear en la Luna. Mayo 2023 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://larepublica.pe/ciencia/2023/05/23/el-plan-secreto-de-ee-uu-para-detonar-una-bomba-nuclear-en-la-luna-653499>
4. CICR: “Armas Nucleares: Una amenaza intolerable para la humanidad, Google Internet. Google Viena. 2018 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://centredelas.org/actualitat/es-la-amenaza-nuclear-mas-real-que-nunca/?lang=es>



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

5. Thurlow S. “La premio Nobel de la Paz Setsuko Thurlow alerta de la amenaza existencial de las armas nucleares” Internet Google. Tokio. 2020 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://www.elsaltodiario.com/armas-nucleares/setsuko-thurlow-tratado-prohibicion-armas-nucleares>
6. Bohigas X. ¿Es la amenaza nuclear más real que nunca? Centro de las d Estudos per la Pau. Público. Internet. Google. Barcelona. 2022 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://centredelas.org/actualitat/es-la-amenaza-nuclear-mas-real-que-nunca/?lang=es>
7. Elias M., “Sin eliminar las armas nucleares no puede haber paz ni un futuro sostenible, advierte el Secretario General”. Gooble. Internet. Nueva York. 2022 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2022/09/1515261>
8. Instituto Español de Estudios de Estrategia 205: “La no proliferación y el control de armamentos nucleares en la encrucijada”. Cuadernos de Estrategia 205. NIPO: 083-20-152-1, ISBN: 978-84-9091-503-5. Ministerio de Defensa. Gobierno de España. Madrid. 2020 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/1/a/la_no_proliferaci_n_y_el_control_de_armamentos_nucleares_en_la_encrucijada.pdf
9. CICR, “Como sería el mundo sin armas nucleares?”. Encuesta pública Google. Suiza. 2022 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://www.swissinfo.ch/spa/ciencia/c%03%b3mo-ser%03%ada-un-mundo-sin-armas-nucleares/47415674>
10. Ramesh T. “Si desea la paz de los sepulcros, prepárese para la guerra nuclear. Centro de no proliferación y desarme nuclear. Australia. 2023 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://www.un.org/es/chronicle/article/si-desea-la-paz-de-los-sepulcros-preparesse-para-la-guerra-nuclear>
11. The New York Times, La incidencia del error humano en la gestión del armamento nuclear. 2018 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://centredelas.org/actualitat/la-incidencia-del-error-humano-en-la-gestion-del-armamento-nuclear/?lang=es>
12. Calderón Garrido JF. Las fuerzas armadas: el fantasma de la seguridad operacional. Revista de la Academia de Guerra del Ejército Ecuatoriano. 2018;11(1). DOI: <https://dx.doi.org/10.24133/age.n13.2020.08>
13. National Guard Supplement 1 to AR 385-10, The Army Safety Program. Febrero 2015 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://www.ngbpmc.ng.mil/Portals/27/Publications/ngr/ngsupplement%201%20to%20AR%20385-10.pdf?ver=2018-09-07-085636-407>



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

14. Filgueiras M, Martín RM, Curbelo A, Samyos A, López O, Rivero JJ. El Análisis Probabilista de Seguridad para la evaluación de la confiabilidad en sistemas técnicos complejos. Ingeniería Energética. 2019 [acceso: 18/01/2025];XL(3):203-11. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3291/329160723004/html/>
15. Rivero J, Salomón J, Valhuerdi C, Torres A, Perdomo M, Ferro R. Análisis de Riesgo en la Industria. ISCTN. La Habana. 2000 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: https://books.google.com/cu/books/about/An%C3%A1lisis_de_riesgo_industrial.html?id=JRjAAAAMAAJ&redir_esc=y
16. Bartell R. The Reactor Safety Study. WASH 1400. 1975 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://www.nrc.gov/docs/ML1622/ML16225A002.pdf>
17. Lederman L. Seguridad de los reactores RBMK. 1996 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: https://www.iaea.org/sites/default/files/38102741017_es.pdf
18. Granma, Conflicto en Ucrania. 2024 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://www.granma.cu/conflicto-ucrania>
19. Granma, Consejo Mundial por la Paz sesionó en Cuba; Israel ordenó el desplazamiento de miles de palestinos; Mulino es declarado presidente de Panamá; Comienza en Bolivia juicio contra represores golpistas. 7 de mayo 2024 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://www.granma.cu/hilo-directo/2024-05-07/hilo-directo-07-05-2024-02-05-31>
20. Lista de accidentes nucleares militares 1997-2019 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: https://es.qaz.wiki/wiki/List_of_military_nuclear_accidents#Bibliography
21. Gerry Hadden, La bomba atómica que EEUU perdió en España. Granma, Cuba. Viernes 1/2/2013 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/01/130116_espana_palomares_bomba_perdida_cch
22. Taleb NN. El Cisne Negro: El Impacto de lo Altamente Improbable, Editorial PAIDOS IBERICA-9788449320774. Barcelona. 2008 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://www.casadellibro.com/libro-el-cisne-negro-el-impacto-de-lo-altamente-improbable/9788449320774/1178810>
23. Lafaille J. Un Cisne Negro en Fukushima, Universidad de los Andes. Venezuela. Marzo de 2013 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://notisismo2.blogspot.com/2013/08/un-cisne-negro-en-fukushima-el.html>
24. Bauso M. El error mínimo que provocó la devastadora tragedia del Challenger: quién fue el Premio Nobel que descubrió el motivo de la explosión. INFOBAE. 27/1/2021 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://www.infobae.com/historias/2021/01/28/el-error-minimo-que-provoco-la-devastadora-tragedia-del-challenger-quien-fue-el-premio-nobel-que-descubrio-el-motivo-de-la-explosion/>



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

25. FDRA - Fuerza Aérea, Las misiones militares de los transbordadores espaciales americanos. Viernes, 7 de agosto de 2020 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://fdra-aereo.blogspot.com/2020/08/las-misiones-militares-de-los.html>
26. Brad Lendon, ¿Qué son las armas nucleares tácticas y qué pasaría si Rusia desplegara una? CNN. 6 de Mayo del 2024 [acceso: 18/01/2025]. Disponible en: <https://cnnespanol.cnn.com/2024/05/06/armas-nucleares-tacticas-rusia-trax/>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Antonio Torres Valle, Luis Osvaldo Zamora Lugo, Lidia Lauren Elías Hardí.

Curación de datos: Antonio Torres Valle, Lidia Lauren Elías Hardí, Manuel Perdomo Ojeda.

Análisis formal: Antonio Torres Valle, Luis Osvaldo Zamora Lugo.

Investigación: Antonio Torres Valle, Luis Osvaldo Zamora Lugo. Lidia Lauren Elías Hardí, Manuel Perdomo Ojeda.

Metodología: Antonio Torres Valle, Manuel Perdomo Ojeda.

Administración del proyecto: Antonio Torres Valle, Lidia Lauren Elías Hardí.

Recursos: Antonio Torres Valle, Luis Osvaldo Zamora Lugo, Lidia Lauren Elías Hardí, Manuel Perdomo Ojeda.

Software: Antonio Torres Valle, Manuel Perdomo Ojeda.

Supervisión: Antonio Torres Valle, Luis Osvaldo Zamora Lugo, Lidia Lauren Elías Hardí, Manuel Perdomo Ojeda.

Validación: Antonio Torres Valle, Luis Osvaldo Zamora Lugo, Lidia Lauren Elías Hardí, Manuel Perdomo Ojeda.

Visualización: Antonio Torres Valle, Luis Osvaldo Zamora, Lidia Lauren Elías Hardí, Manuel Perdomo Ojeda.

Redacción – borrador original: Antonio Torres Valle, Luis Osvaldo Zamora Lugo.

Redacción – revisión y edición: Antonio Torres Valle, Luis Osvaldo Zamora Lugo, Lidia Lauren Elías Hardí, Manuel Perdomo Ojeda.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)