

EL PAPEL CRUCIAL DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE

THE CRUCIAL ROLE OF NUCLEAR ENERGY
IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT

LA IMPORTÂNCIA CRUCIAL DA ENERGIA NUCLEAR
NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

GONZALO F. GONZALEZ
MILAGROS RODRÍGUEZ (*)

RESUMEN. Este estudio propone examinar por qué la energía nuclear podría ser un elemento útil en la protección del derecho a un medioambiente limpio, sano y sustentable. A su vez, plantea desentrañar las creencias infundadas sobre esta energía en la sociedad, entender porque podrían estas ideas no ser realistas. Se utiliza una metodología de tipo monográfica. Los resultados demuestran una posición favorable de la energía nuclear por sobre el resto de las energías en cuanto refiere al desarrollo sostenible y la protección del derecho a un medioambiente limpio, y como conclusión se puede observar la concordancia entre la hipótesis inicial y la conclusión

PALABRAS CLAVE. Energía nuclear. Derechos humanos. Desarrollo sostenible. Concepción negativa. Medioambiente sano.

ABSTRACT. This writing aims to examine why nuclear energy could be a useful element in safeguarding the right to a clean, healthy, and sustainable environment. Additionally, it seeks to unravel unfounded beliefs about this energy source in society and understand why these ideas may not be realistic. A monographic methodology is used. The results demonstrate a favorable position for nuclear energy compared to other energy sources concerning sustainable development and environmental protection. In conclusion, there is alignment between the initial hypothesis and the findings.

KEY WORDS. nuclear energy. human rights. sustainable development. negative perception. healthy environment.

(*) Estudiantes de 1.º de Derecho en la Universidad CLAEH. Correos electrónicos en el orden de los autores: fgonzalezmederos@gmail.com; m2ilagros34rodriguez@gmail.com.

RESUMO. Este estudo propõe examinar por que a energia nuclear pode ser um elemento útil na proteção do direito a um meio ambiente limpo, saudável e sustentável. Além disso, busca desvendar as crenças infundadas sobre essa energia na sociedade e entender por que essas ideias podem não ser realistas. Utiliza-se uma metodologia de tipo monográfico. Os resultados demonstram uma posição favorável da energia nuclear em relação às demais energias no que se refere ao desenvolvimento sustentável e à proteção do direito a um meio ambiente limpo. Como conclusão, observa-se a concordância entre a hipótese inicial e a conclusão.

PALAVRAS – CHAVE. Energia nuclear. Direitos humanos. Desenvolvimento sustentável. Concepção negative. Meio ambiente saudável.

Contribución autoral: 50 % cada autor/a.

Fecha de recepción: 15 de julio 2024.

Fecha de aceptación: 30 agosto 2024.

Introducción

El propósito principal de esta investigación es realizar un análisis acerca de cómo la energía nuclear podría contribuir al desarrollo sostenible y a la protección de los derechos humanos medioambientales, un análisis acerca de que tan potencialmente contaminante podría ser, desde la emisión de gases de efecto invernadero, problemática que parece ser principal en la idea de un medioambiente sano, hasta los desechos nucleares que podrían quedar, y su potencial contaminante. A su vez, se realizarán comparaciones con el resto de las energías consideradas más limpias o seguras.

En el mundo son varias las naciones las cuales, por ley o por diversas razones prohíben la generación de energía nucleoelectrica mediante centrales nucleares, a su vez la sociedad tiene una vista estigmatizada muchas veces infundada de la peligrosidad de la energía nuclear, se intentará hacer un análisis sobre qué tan fundamentada podría llegar a ser esta idea.

El principal problema que llevó a la elaboración de esta investigación es el hecho de una sociedad aparentemente desinformada que asimila el concepto de energía nucleoelectrica al del peligro, pues hay un temor infundado, quizás a causa de casos como Fukushima, Chernóbil y Three Mile Island, incidentes que serán tratados en este trabajo.

Esta es una investigación de suma importancia pues podría permitir hacer una crítica objetiva sobre la energía nuclear, evitando estigmas sociales, permite entender porque esta podría ser una energía limpia, segura y eficiente, teniendo en cuenta su polémica, sin embargo, es parte de su intención el educar sobre la energía nuclear y su estrecha relación con el derecho a un medioambiente limpio, saludable y sostenible.

La motivación parte de la intención de aliviar este temor social infundado a la energía nucleoelectrica, pues se parte de la hipótesis de que la energía nucleoelectrica no es ni tan peligrosa, ni tan contaminante como se la plantea coloquialmente. Se intentará dar respuesta a esta problemática y desentrañar las razones por las cuales podría tenerse estos estigmas.

Esta investigación se dividirá en tres secciones, el marco teórico, donde se desarrollarán y explicarán los conceptos de energía nuclear, derechos humanos, derecho humano a un medioambiente sano y del desarrollo sostenible. En el segundo apartado, se explicará el desarrollo sostenible, que tan sostenible y sustentable es esta energía, finalmente, en el tercer apartado, se observará que tan real es la idea de la sociedad sobre la peligrosidad de la energía nucleoelectrica.

I. Los derechos humanos medioambientales y el desarrollo sostenible

Para dar comienzo al capítulo es necesario impartir las definiciones de los derechos humanos, el desarrollo sostenible y el derecho a un medioambiente sano.

Según el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, s.f):

Los derechos humanos son normas que reconocen y protegen la dignidad de todos los seres humanos. Estos derechos rigen la manera en que los individuos viven en sociedad y se relacionan entre sí, al igual que sus relaciones con el Estado y las obligaciones del Estado hacia ellos. (párr. 1)

En esta definición entraría el concepto de desarrollo sostenible, entrelazado junto al derecho a un medioambiente limpio, saludable y sostenible, pues no considerar estos conceptos podría dañar a las futuras generaciones.

En segunda instancia a definir estaría el concepto de desarrollo sostenible, necesario para poder comprender como esta energía podría demostrar beneficios en cuanto a los planes de agenda ambiental.

El concepto de desarrollo sostenible surgió a finales de la década de los 80, definiéndose en el Informe Brundtland como “un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”.

En un sentido amplio, el desarrollo sostenible encarna el concepto de igualdad dentro y fuera de las fronteras de los países y a lo largo de las generaciones, y conjuga el crecimiento económico con la protección del medio ambiente y el bienestar social. (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1987, como se citó en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE], 2002, p. 4)

En definitiva, el desarrollo sostenible está intrínsecamente relacionado con las características de los derechos humanos, a causa de que, si el medioambiente es afectado en un futuro, estarían siendo violentados derechos como la salud a las próximas generaciones.

Finalmente, el derecho a un medioambiente limpio, saludable y sostenible para todas las personas, el cual es reconocido en la resolución 48/13 del consejo de Derechos Humanos. A pesar de carecer de vinculación de carácter jurídico, el hecho de reconocer este derecho permitiría a la Asamblea General de las Naciones Unidas catalizar acciones más efectivas para su protección, tal como pasó al ser reconocido el derecho al agua y al saneamiento (Brands, 2022)

Este derecho, en resumidas cuentas podría ser entendido como el derecho que tienen las futuras generaciones, y en general, las actuales también, a vivir en un medioambiente que no dañe su salud, que sea sano, sostenible, un medioambiente que no se vea afectado constantemente por las emisiones de gases de efecto invernadero, que esté con peligros a la salud constantes, donde la capa de ozono no se vea dañada, pues este derecho va tan de la mano con conceptos como el derecho a la vida y a la salud, ciertamente podría llegar a relacionarse el derecho al medioambiente sano con el derecho humano a la salud y a la vida.

II. Marco teórico de la energía nuclear

Según menciona Galindo (2024), la energía nuclear es la energía obtenida en las centrales nucleares a través de los procesos conocidos como fisión y fusión. Hoy en día, se utiliza meramente el proceso de fisión nuclear para la generación de esta energía, este consiste en la separación de los núcleos de los átomos, para esto se utilizan los combustibles nucleares tales como plutonio o uranio.

Dicha autora afirma que los núcleos atómicos están compuestos de protones y neutrones, y rodeados por electrones. Al dividir estos núcleos, se generan más núcleos de menor tamaño, lo cual al mismo tiempo libera energía, golpeando otros átomos, generando así una reacción en cadena.

A su vez comenta que esta energía se produce en forma de calor y radiación, y puede transformarse en electricidad en una central nuclear, esto es mediante la utilización de ese calor producido, el calor aumenta la temperatura del líquido refrigerante del reactor, que suele ser agua, produciendo así vapor, este vapor se encauza para hacer girar unas turbinas que activaran un generador eléctrico, así produciendo electricidad con bajas emisiones de carbono.

III. Acerca de la sostenibilidad y sustentabilidad de la energía nuclear

III.1. Acerca de la emisión de gases de efecto invernadero

El siguiente punto es la emisión de dióxido de carbono, y en general, de gases de efecto invernadero, como menciona Chudakov (2016) si tenemos en cuenta las emisiones durante toda la vida útil del proceso de generación de electricidad comparándolas entre distintas energías, destacarían tres: la energía nucleoelectrica, la hidroeléctrica y la energía eólica, pues estas producen electricidad sin generar emisiones de dióxido de carbono (CO₂), y son de las que menos gases de efecto invernadero emiten. Si se tiene en cuenta la vida útil en su totalidad, la energía nucleoelectrica está entre las que menos emisiones genera, comparándolo con el resto de las fuentes de energía renovables. La energía renovable es limpia y presenta muchas ventajas, pero dependen de situaciones climáticas como lo sería el viento o la luz solar.

Concluyendo este tema, Chudakov (2016) menciona lo siguiente:

La energía nucleoelectrica puede seguir promoviendo el desarrollo sostenible mediante el suministro de la energía necesaria para apoyar a una población cada vez más numerosa y a una sociedad que sigue industrializándose. Al mismo tiempo, sus efectos en el clima y en el medio ambiente son menores en comparación con los de la mayoría del resto de formas de energía. (p. 18)

Según la Agencia Internacional de la Energía (2019), la energía nuclear y la hidroeléctrica forman la columna vertebral de la generación de electricidad con bajas emisiones de carbono, juntos, proporcionan tres cuartas partes de la generación global con bajas emisión es de carbono.

Afirma que, en los últimos 50 años, el uso de la energía nuclear ha reducido las emisiones de CO₂ en más de 60 gigatoneladas: casi dos años de emisiones globales relacionadas con la energía.

Menciona que, sin embargo, en las economías avanzadas, la energía nuclear ha comenzado a desvanecerse, con el cierre de plantas y pocas inversiones nuevas, justo cuando el mundo necesita más electricidad con bajas emisiones de carbono. Se muestra que, si no se toman medidas, la energía nuclear en las economías avanzadas podría caer en dos tercios para 2040.

A su vez, comenta que las implicaciones de tal “caso de desvanecimiento nuclear” para los costos, las emisiones y la seguridad eléctrica utilizando dos escenarios de World Energy Outlook se examinan en las nuevas políticas. Afirma que alcanzar el ritmo de reducción de emisiones de CO₂ acorde con el Acuerdo de París ya es un enorme desafío, como se muestra en el

Escenario de Desarrollo Sostenible. Requiere grandes aumentos en la eficiencia y la inversión en energías renovables, así como un aumento de la energía nuclear.

Según menciona, este informe identifica los desafíos aún mayores de intentar seguir este camino con mucha menos energía nuclear, pues recomienda varias posibles acciones gubernamentales que apuntan a garantizar que las centrales nucleares existentes puedan operar mientras sean seguras, apoyar la nueva construcción nuclear y alentar el desarrollo de nuevas tecnologías nucleares.

Para ilustrar lo dicho anteriormente, las emisiones de los gases de efecto invernadero producidas por cada energía, siendo comparadas con la energía nucleoelectrónica, véase en la siguiente gráfica:

Figura 1: ¿Cuáles son las fuentes de energía más limpias y seguras?



Death rates from fossil fuels and biomass are based on state-of-the-art plants with pollution controls in Europe, and are based on older models of the impacts of air pollution on health. This means these death rates are likely to be very conservative. For further discussion, see our article: [OurWorldinData.org/safest-sources-of-energy](https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy). Electricity shares are given for 2021. Data sources: Markandya & Wilkinson (2007); UNSCEAR (2008; 2013); Sovacool et al. (2016); IPCC AR5 (2014); UNECE (2022); Ember Energy (2021). OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

Nota. En esta gráfica se puede observar cómo la energía nuclear es la que menos gases de efecto invernadero genera por giga watt por hora producido. De *What are the safest and cleanest sources of energy?*, de Ritchie y Roser, 2020, Ourworldindata (<https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>). CC-BY 4.0

Esto permite entender que la energía nuclear no es solo una buena opción en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero, sino que es la más apropiada, siendo hasta 4 veces más limpia que la energía hidroeléctrica, dos veces más limpia que la eólica, y casi 9 veces más limpia que la solar.

A su vez, como tema secundario, esta gráfica muestra las muertes por Tera watt hora producidos, de estas energías, enseñándose como después de la solar, es la energía que menos muertes produce, por ende, la más segura.

III.2. Sostenibilidad a través del tiempo

Si la energía nucleoelectrica se compara con las energías renovables, esta es una situación donde la energía nucleoelectrica tomaría gran ventaja, pues las energías renovables como la eólica o la solar tienen un porcentaje del tiempo de producción de energía mucho menor si se comparan a la energía nuclear.

Tanto es así que, según Chudakov (2016), esta puede producir energía de manera constante y eficiente durante la mayor parte del año, y en gran cantidad de ocasiones, el 90% del tiempo de operación, día y noche. A su vez, esta energía puede desplegarse a gran escala, lo cual lo convierte en la opción ideal para satisfacer la demanda eléctrica en ciudades y en la industria.

En cuanto a la vida útil, Novak, y Podest (1987) comentan que las unidades generadoras de electricidad alimentadas con combustible fósil comienzan a deteriorarse a los 10 años de explotación, mientras que, en las centrales nucleoelectricas, su vida útil oscila entre los 20 y 40 años, claramente siendo superior en cuanto a vida útil a las centrales de combustible fósil.

Mencionan a su vez que el envejecimiento podría definirse como la degradación que sufren los materiales a través del tiempo a causa de sus condiciones de funcionamiento, incluyendo la explotación normal. Después de un largo periodo se produce un cambio gradual en las propiedades de los materiales.

Afirman que esto puede afectar la capacidad de los componentes, estructuras o sistemas para realizar la función requerida. Sin embargo, no todos los cambios son perjudiciales, pero pueden terminar por ocasionar una reducción gradual del rendimiento.

Finalmente, menciona Castejón (2018):

Desde el punto de vista de ingeniería el tiempo de "vida" es de 40 años. Se supone que los sistemas están diseñados para funcionar ese tiempo, sin que se produzcan fallos. Esta evaluación ingenieril del tiempo de funcionamiento está fundamentada cuando se realizan operaciones industriales rutinarias, bien establecidas, que se han practicado en numerosas ocasiones. (párr. 6)

Si se compara a las energías renovables que dependen de condiciones climáticas favorables, la eólica genera energía el 37 % del tiempo y la solar el 26 %, son ampliamente superadas por la energía nucleoelectrica, que genera energía el 93 % del tiempo.

Mientras en Estados Unidos las plantas de energía tienen licencia para operar 60 años, la vida útil de las energías renovables es aproximadamente la mitad del tiempo (Tubb, 2019).

Estos datos demuestran una superioridad en cuanto a vida útil de las centrales nucleares, a su vez, como estas al estar en constante evolución, podrían llegar a, en un futuro, expandir su vida útil.

III.3. Acerca de la huella física

Respecto a la huella física, también se puede demostrar una superioridad por parte de la energía nucleoelectrónica, pues según Tubb, (2019), un solo reactor nuclear utiliza alrededor de 5,3 hectáreas de territorio por megavatio, al compararse con la energía eólica que requiere 28,7 hectáreas, la solar que requiere 17,8 y la hidroeléctrica que requiere 127,5 hectáreas, se estaría demostrando una superioridad de la energía nucleoelectrónica.

Esto incluye terrenos utilizados para transporte, transmisión y almacenamiento, que podrían utilizarse para otras finalidades.

Dicho de otra manera, una granja solar requeriría 72 kilómetros cuadrados de tierra para producir la misma cantidad de electricidad que una planta de energía nuclear promedio, y la granja de energía eólica requeriría 415 kilómetros cuadrados.

III.4. Acerca de los desechos nucleares

Otro de los problemas principales de la utilización de esta energía es el medio de desecho de sus residuos. Estos, al ser producto de materiales radioactivos son un peligro en potencia para las personas expuestas a las radiaciones de estos por lo que es esencial contar con especial cuidado al tratarlos. “Desde que empezó a utilizarse la energía nuclear, se consideró que el período de explotación de las centrales debía ir acompañado de la definición de una política de almacenamiento, depósito y tratamiento de los residuos” (Comisión Europea, 2000: 35, como se citó en Cáceres Bayona, 2011, p. 56).

La investigación nuclear ha determinado formas adecuadas de almacenamiento de residuos a corto plazo, asegurando que las propiedades radiactivas de los elementos de los desechos permanezcan aisladas, evitando efectos negativos en las personas. No se han resuelto los problemas prácticos del almacenamiento a largo plazo de los desechos nucleares, por la larga vida de los elementos radiactivos. (Comisión Europea, 2000: 35, cómo se citó en Cáceres Bayona, 2011, p. 56).

IV. La vista de la sociedad sobre la energía nuclear

Según Cáceres Bayona (2011) los materiales cuya manipulación tiene como resultado la energía nuclear (uranio y plutonio) son elementos su-

mamente volátiles y, por ende; requieren de entornos y manipulación sumamente controlados, además de contar con procesos de igual o de mayor inestabilidad. En estos procesos, donde se propician reacciones a nivel atómico se corre fácilmente el riesgo de perder el control sobre alguna de las variables lo que puede llegar a desembocar en accidentes tales como fugas de radiactividad o explosiones en reactores.

No obstante, dicho autor señala que durante la actividad de ciertas centrales nucleares se han desatado accidentes muy utilizados para la estigmatización de la utilización de la energía nuclear dado su relevancia y protagonismo mediático, siendo estos casos los de Chernóbil, Three Mile Island y el accidente de Fukushima.

IV.1. Análisis de incidentes históricos

El Three Mile Island tuvo lugar en 1979 dado a la fusión parcial del núcleo de uno de los reactores. No tuvo consecuencias en la población circundante, sin embargo, contribuyó a la creciente desconfianza y recelo por parte de la sociedad hacia la energía nuclear.

Mientras tanto, en 1986 acaeció el accidente de Chernóbil dado un error en una prueba de respuesta del sistema de la central nuclear a un corte de energía, provocando una explosión en uno de los reactores, dejándolo expuesto y liberando una enorme cantidad de radiactividad al exterior. Este accidente es el infortunio más grave en energía nuclear, dado que fue la razón de desplazamiento de las civilizaciones cercanas, llegando a afectar de muerte o lesiones graves a mínimo 800.000 personas.

No obstante, se sabe que el mal, o mejor expresado, nulo control de las autoridades sobre el caso contribuyó a la exacerbación de víctimas al infravalorar el alcance de la radiación, lo que hizo que no se tomaran medidas pertinentes para el cuidado de la población y evitar que la misma onda de explosión radiactiva se expanda (esperando hasta días enteros para evacuar por completo la ciudad, medida que se tuvo que tomar desde el momento inicial para limitar el alcance de la radiactividad). Las mismas autoridades son responsables de la explosión, ya que no tomaron las medidas preventivas necesarias para evitar fugas y, en casos extraordinarios, explosiones.

Estos sucesos incrementaron la desconfianza en la producción de energía nuclear. Por eso la mayoría de los países que usan este tipo de energía han recurrido a moratorias para reducir gradualmente su uso; o se han comprometido a mejorar la seguridad de las instalaciones de sus centrales nucleares (Comisión Europea, 2000, como se citó en Cáceres Bayona, 2011, p. 56).

Pese estas consideraciones, Cáceres Bayona, (2011) añade otro accidente nuclear a la estigmatización, siendo el de Fukushima. Esta central colapsó a la salida de funcionamiento del sistema de enfriamiento de los reactores que fue consecuencia directa del terremoto de Japón en 2011. Este terremoto provocó la desactivación de la generación interna de energía y deshabilitó la alimentación externa, lo cual fue empeorado posteriormente con la llegada del tsunami, dañando los generadores Diesel de emergencia. El centro de noticias Reuters informó: “La crisis nuclear en Fukushima se encuentra a la fecha en el nivel más alto de severidad, quedando a la par con el accidente de Chernóbil en 1986” (Reuters, 2011, como se citó en Cáceres Bayona, 2011, p. 56).

A pesar del hecho de que el accidente de Fukushima se encuentre a la par de Chernóbil en cuanto a seguridad, se debe realizar una distinción entre ambos, ya que la tecnología utilizada para la central en Fukushima hace que la planta sea mucho más robusta en cuanto a estructura de lo que Chernóbil fue, además de contar con una estructura de contención mucho más firme, lo que evitó que la radiactividad fuese inmediatamente despedida hacia la atmosfera de forma totalmente libre (como sí sucedió en el caso puntual de Chernóbil). Esto permitió que la población fuese advertida y desalojada de forma rápida y eficiente.

Cabe destacar que aquí se relatan dos accidentes similares (en cuanto a que ambos fueron en plantas nucleares) pero totalmente distintos en cuanto a actuación de las autoridades competentes se refiere. Por un lado, se menciona Chernóbil; siendo un caso evitable (o por lo menos no tan expansivo como lo fue) cuya causa fue la total negligencia y despreocupación de las autoridades. Y el caso de Fukushima, siendo éste un caso controlado de forma óptima por las autoridades a pesar de ser provocado por circunstancias mayores (por un terremoto inicial y posteriormente empeorado por un tsunami).

IV.2. Causas de la concepción social negativa

A modo de cierre de este capítulo se concluye que la estigmatización y recelo social al uso de la energía nuclear es totalmente infundado y causado por accidentes aislados, que cabe destacar, la mayoría pudo haberse evitado y si llegaron a ser y tuvieron el alcance que tuvieron en cuanto a consecuencias en la población, es debido al mal control de la situación por parte de las autoridades a cargo, más específicamente por no tomar las medidas preventivas necesarias y por no contar con un protocolo óptimo y eficiente para evitar fugas o explosiones. Es fundamental e imprescindible si se quiere producir energía nuclear para abastecer una población.

Según Zanelli (2011) la idea de que la radiactividad en sí es en extremo peligrosa, difícil su detección y que, en suma, su propagación y liberación a

la atmosfera es muy sencilla es una exacerbación por parte de la sociedad a raíz de los accidentes ya abordados previamente en el capítulo, siendo un temor infundido y la principal razón de suspicacia social cuando se habla de energía nuclear.

Las plantas nucleares y por ende la energía nuclear en sí mismos no representan ningún peligro para la sociedad, pudiendo hasta ser beneficioso al contribuir con la reducción de gases de efecto invernadero pudiendo ser una opción sustentable de fuente de energía para abastecer extensas poblaciones. El verdadero peligro de estas radica en el desconocer y/o no contar con los protocolos y medidas necesarias para su prevención o limitación en alcance.

V. Conclusión

En conclusión, la energía nucleoelectrica parece ser una energía superior en cuanto al desarrollo sostenible y la protección de los derechos humanos medioambientales refiere, pues es una energía que genera mucha menos cantidad de gases de efecto invernadero que el resto de energías, es una energía mucho más segura en cuanto a lo que refiere a muertes por su utilización, tiene una huella física mucho menor, y un tiempo de generación de energía ampliamente superior a la de las energías renovables, a su vez, tiene una vida útil bastantes veces mayor, y los desechos nucleares no parecen representar una amenaza real al medioambiente, por ende, se debería de considerar utilizar en mayor cantidad la energía nucleoelectrica pues es la que verdaderamente permite proteger al medioambiente, y al derecho a un medioambiente sano.

Sin embargo, es fundamental realizar un análisis exhaustivo sobre la producción y utilización de la tecnología nuclear desde una perspectiva integral, con el propósito de obtener una evaluación completa de los beneficios y desventajas de su aplicación, incluyendo aspectos como su integración en la modernidad. En el proceso de generación de energía nuclear, se producen residuos radioactivos altamente tóxicos con una prolongada vida activa, cuyo almacenamiento a largo plazo aún no ha sido perfeccionado.

Asimismo, parece ser que el hecho de que exista un riesgo inherente de fallos en las centrales nucleares no es una eventualidad exclusiva de la industria nuclear, sino común a diversos procesos industriales, y tampoco resulta una problemática real existiendo tan pocos casos en la historia, y al ser consecuencias de la negligencia de sus operadores.

A su vez, la energía nuclear no emite carbono durante su operación, lo que la convierte en una alternativa para mitigar el impacto del cambio climático al reemplazar a las fuentes de energía térmica basadas en hidrocarburos.

Además, la tecnología nuclear civil ha experimentado avances significativos desde su inicio en el siglo XX, lo que ha impulsado el desarrollo de métodos más efectivos para el reciclaje y almacenamiento de desechos nucleares, así como la reducción de la frecuencia y gravedad de los accidentes nucleares a medida que progresa la investigación y desarrollo en este campo.

Es notable que, a pesar de ser calificados con el mismo nivel de gravedad, el accidente de Fukushima causó considerablemente menos víctimas que el de Chernóbil. Además, las propuestas para regular el manejo del combustible nuclear con el fin de prevenir la proliferación de armas nucleares podrían brindar una oportunidad para implementar programas nucleares civiles sin riesgos bélicos, siempre y cuando se acompañen de políticas de cooperación y transferencia tecnológica entre naciones para reducir costos y riesgos.

Por último, la diversificación de las fuentes de energía es esencial para reducir la dependencia de los hidrocarburos, lo cual tiene importantes implicaciones sociales, económicas y ambientales, y contribuye a garantizar la seguridad energética de los países.

En este sentido, la energía nuclear desempeña un papel crucial debido a su significativa presencia en la matriz energética global, después de la biomasa. Para una implementación eficaz de la energía nuclear, es necesario mejorar continuamente los aspectos técnicos y económicos asociados a su aprovechamiento.

El costo de construcción y mantenimiento debe reducirse para hacer su uso más económicamente viable, pero sin comprometer la seguridad, lo que implica la implementación de políticas de redundancia en los sistemas de seguridad.

Esta redundancia requiere la disponibilidad de múltiples niveles de respaldo en todos los procesos críticos de la central nuclear, como el sistema de enfriamiento, para garantizar su funcionamiento incluso en situaciones de emergencia, como se evidenció en el caso de Fukushima, donde la falla del sistema de enfriamiento se debió a la pérdida de energía interna y externa causada por un desastre natural.

Referencias bibliográficas

BAYONA, D. C. (2011). De Hiroshima a Fukushima: la conveniencia del uso de la energía nuclear. *Letras Verdes: Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (10), 52-63

BRANDS, I. (12 de abril del 2022). Right to healthy environment, [Grabación de audio de un discurso]. OHCHR. <https://www.ohchr.org/en/state->

ments-and-speeches/2022/04/right-healthy-environment#:~:text=Human%20Rights%20Council%20resolution%2048,at%20the%20UN%20General%20Assembly

CASTEJÓN, F. (26 de noviembre de 2018). ¿Cuánto tiempo puede funcionar una central nuclear?, *Elsaltodiario*, <https://www.elsaltodiario.com/desconexion-nuclear/cuanto-tiempo-puede-funcionar-una-central-nuclear>

CHUDAKOV, M. (2016). Energía nuclear para el futuro. *Organismo Internacional de Energía Atómica Boletín*, 57(3), 17-18

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (s.f). ¿Qué son los derechos humanos?. <https://www.unicef.org/es/convencion-derechos-nino/que-son-derechos-humanos>

GALINDO, A. (17 de abril de 2024), ¿Qué es la energía nuclear? La ciencia de la energía nucleoelectrónica. *Iaea*. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-energia-nuclear-la-ciencia-de-la-energia-nucleoelectrica>

International Energy Agency (2019), *Nuclear Power in a Clean Energy System*, IEA, <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>

NOVAK, S. y Podest, M. (1987). Envejecimiento y prolongación de la vida útil de las centrales. *Boletín del OIEA*, p. 33 https://www.iaea.org/sites/default/files/29402043133_es.pdf

OCDE. (2002), *NUCLEAR ENERGY IN A SUSTAINABLE DEVELOPMENT PERSPECTIVE*. <https://www.oecd-nea.org/ndd/docs/2000/nddsustdevsp.pdf>

RITCHIE, H. y ROSER, M. (2020). What are the safest and cleanest sources of energy? [Gráfica]. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>. CC-BY 4.0

TUBB, K. (16 de septiembre de 2019). La energía nuclear podría ser la fuente de energía limpia que el mundo necesita, *CNN*. <https://cnnespanol.cnn.com/2019/09/16/la-energia-nuclear-podria-ser-la-fuente-de-energia-limpia-que-el-mundo-necesita/>

ZANELLI, J. (2011). Dilema energético: La energía nuclear. *Estudios públicos*, (121).