

Editorial

Tecnología nuclear: una historia de catástrofes y progresos

Cristhian Eduardo Hernández-Flórez*

*Estudiante IX Nivel. Escuela de Medicina. Facultad de Salud. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Santander. Colombia.
Correspondencia: Sr. Hernández. Av. Búcaros #60-262. Ciudadela Real de Minas. Bucaramanga. Santander. Colombia. Apartado postal: 680005. e-mail: cresh234@hotmail.com.

RESUMEN

La presión científica alimentada por los diversos intereses geopolíticos de la primera mitad del siglo XX, fue sin duda el motor de impulso necesario para la investigación y el desarrollo de la tecnología nuclear. Una vez superada la crisis desencadenada por la Segunda Guerra Mundial, el conocimiento obtenido sobre los generadores atómicos aplicados a las necesidades civiles, no demoró en consolidar la energía nuclear como una opción futurista a la previsible escasez mundial de combustible. Es por eso, que el átomo se presentó como una carta maestra para la seguridad, energía, economía, desarrollo y el cuidado ambiental. Sin embargo, pese a los controles para limitar su desarrollo como elemento militar, esta “panacea” no carece de generar dudas sobre su costo/beneficio. La historia relata algunos acontecimientos relacionados con dichos generadores, que han causado daños irreparables de manera inmediata y a largo plazo en el medio ambiente y en las poblaciones aledañas a aquellas estructuras. En el siguiente informe, se elabora una recopilación sobre el historial de eventos relacionados con el desarrollo de tecnología atómica, así como de la situación mundial de la energía nuclear. (MÉD. UIS. 2012;25(3):179-87).

Palabras clave: Atómico. Energía nuclear. Hiroshima. Nagasaki. Chernóbil.

Nuclear technology: a history of catastrophes and progresses

ABSTRACT

Research and development of nuclear technology were done by a science under pressure of the geopolitical interests in the first half of the 20th century. Once the crisis triggered by the World War II passed, the knowledge gained about atomic generators applied to civilian needs, was able to quickly consolidate nuclear energy as a futuristic option for the global fuel shortage. At the same time, the atom was presented as a trump card for security, energetic, economic, and environmental development. However, despite the controls to limit its expansion as a military weapon, this “panacea” does not lack of doubts about its costs versus its benefits. History can tell some events related to these generators, which have caused irreparable damage in their surrounding environment and nearby towns immediately and in a long term. In the following report, a review of the history of events related to the development of nuclear technology is made, as well as the overall situation of nuclear power worldwide. (MÉD. UIS. 2012;25(3):179-87).

Keywords: Atomic. Nuclear power. Hiroshima. Nagasaki. Chernobyl.

INTRODUCCIÓN

La publicidad moderna suele revelar a la tecnología nuclear como una fuente energética alternativa, potente, relativamente económica, limpia y segura, para un mundo que pide a gritos independizarse de los combustibles fósiles. Por si fuera poco, estos anuncios tienden a contar con financiación y apoyo gubernamental^{1,4}.

Adicional a ello, el uso de esta tecnología se ha expandido, entre otros, a los campos militar, bioquímico y médico^{2,4}. También cuenta con el uso de uno de los elementos naturales considerados como

las “sustancias primordiales”: el uranio. Este se encuentra en abundancia, tanta que los seres vivos se exponen a él a diario, por lo que sus concentraciones normales no generan repercusiones a la salud o al medio ambiente^{1,2}.

Con este panorama, vale la pena cuestionarse por qué algunos gobiernos tienen como objetivo obtener su independencia de la energía nuclear en los próximos años. Un ejemplo de esto es Alemania, a quien los reactores atómicos surten el 30% del consumo eléctrico y le ahorran miles de millones de euros, pero quien ha declarado su desactivación nuclear en menos de cuarenta años^{3,4}. En este artículo se hace

revisión a los acontecimientos nucleares que hicieron historia, a la vez que se enfatiza en el alcance e impacto que esto trajo sobre las decisiones gubernamentales en cuanto al desarrollo de tecnología nuclear.

MÉTODOLÓGICA DE BÚSQUEDA

Se realizó un estudio histórico de tipo descriptivo, basado en la información obtenida por las fuentes de consulta. Para la investigación bibliográfica, se utilizan los motores de búsqueda generales: www.google.com y www.alltheweb.com, con las ecuaciones de búsqueda: “Nuclear power”, “Hiroshima”, “Nagasaki”, “Tokyo bombing”, “Nuclear development”, “Nuclear accidents”, “Chornobil’s kakatastrofa”, “Red forest” y “Radiation induced cancer”, “Uranium”, “Nuclear proliferation”, “World oil reserves”, entre otros. De igual manera, se revisaron algunas referencias mencionadas en los documentos fuente. Se excluyeron los blogs y documentos sin mención del nombre ni las referencias del autor.

Asimismo, se tuvieron en cuenta documentos oficiales que fueron expedidos por instituciones relacionadas con el tema, como la *International*

Atomic Energy Agency, la *World Nuclear Association*, la *International Energy Agency* de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, la *International Solar Energy Society*, la Organización de las Naciones Unidas, el *U.S. Department of Energy*, la *U.S. Library of Congress*, el Servicio Geológico Colombiano y el Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

LA GUERRA DEL ÁTOMO

No distan muchas generaciones de cuando se miraba con un fascinante imperativo los desarrollos nucleares de las potencias mundiales, muestra irrefutable de hegemonía política, energética y militar^{3,5-8}. Tras el derrumbe del imperio japonés en 1945, por las bombas atómicas que cayeron sobre las urbes industriales de Hiroshima y Nagasaki⁵⁻⁸, y algún tiempo después de los bombardeos con armamento napalm a una capital construida casi exclusivamente con madera⁸ (ver Figura 1)^{6,7,9}, se dobló la nación más poderosa del hemisferio oriental y se dejó clara la dominancia política sobre el océano pacífico^{8,10}. Esto sin contar un detalle preponderante: el mensaje de superioridad tecnológica y capacidad destructiva de los Estados Unidos de América, que adquiere una magnitud insólita para la época^{8,10}.



Figura 1 Izq-der. Bomba atómica explotando sobre la ciudad de Nagasaki en Japón, el 9 de agosto de 1945. Devastación de la ciudad de Hiroshima el 6 de agosto de 1945. Tokio arde tras el asalto de bombardeo por el escuadrón norteamericano B-29 el 26 de mayo de 1945. Fuente: Library of Congress Prints and Photographs Division Washington, D.C.^{6,7,9}.

De todas maneras, no se debe subestimar el hecho de que “la historia la escriben los vencedores”, por lo que la muerte inmediata de cerca de 105 000 personas y los 95 000 heridos¹⁰, la mayoría civiles¹¹, no fue vista como una catástrofe humanitaria. En cambio, se consideró un justo necesario para liberar al mundo de las ambiciones territoriales de la “isla de los Kamikazes”, que apoyaba a Hitler y buscaba controlar el Asia Pacífico^{12,13}; aquello pese

que la invasión continental nipona fue provocada sobre todo por la escasez tras el embargo de importación energética y de insumos impuesto por Norte América¹²⁻¹⁴. Debido a esto, no hubo una concientización real sobre los efectos ambientales, sociales y de salud para las poblaciones ni su medio^{5,10,12-15}. Además, se alude a la inherente falta de estudios a corto o mediano plazo sobre el impacto radioactivo en las poblaciones, dada la

urgencia militar en el perfeccionamiento de aquella nueva tecnología, el afán de desarrollar nuevas y más poderosas armas¹³, la convulsión global de la Segunda Guerra Mundial^{13,15} y el aislamiento sociopolítico del Japón. Desde este punto de vista, se podría catalogar al Japón de mitad del siglo XX como un desastre social que fue causado por la guerra y mantenido por la indiferencia política. También es un desastre científico pues, pese a la adversidad, representaba una oportunidad única para el estudio epidemiológico, clínico y molecular de los efectos biológicos secundarios a la radiación nuclear.

Por si fuera poco, se cultiva en el pensamiento popular, la imagen de la investigación atómica como esperanza de superioridad americana-capitalista sobre los avances soviéticos-comunistas, y en especial, sobre la latente pero avanzada, destructiva y potencialmente devastadora tecnología de la Alemania nazi^{13,16}. Aquello fue alimentado por la incertidumbre ciudadana en la Guerra Fría posterior

a la caída del Tercer Reich (1947-1991)^{13,17}, las abrumadoras imágenes de una Europa devastada¹³ y el pánico mundial de una guerra nuclear¹³⁻¹⁷.

La endeble percepción de seguridad que le brindaba poseer dicha tecnología a los “gringos” se vio reflejada en casi todas las facetas de la sociedad occidental, que fue convencida además por la publicidad estatal a favor del átomo (ver Figura 2)^{15,16,18}. De igual manera, la imagen de la tecnología nuclear como marca de superioridad o amenaza global, se mantuvo incluso después que algunos países tras la llamada “cortina de hierro” (como la República Federal Alemana del Oeste, Japón y la Unión Soviética), accedieran a entrar en la era atómica -que comienza en Berlín en 1938¹⁵- mediante investigación propia o por compra a los Estados Unidos. De todas maneras, en los tratados de París de 1955¹⁷, se establece la restricción para utilizar dichas investigaciones solo fines pacíficos^{15,17}, dada la permanencia en el imaginario social del fantasma de la amenaza nuclear¹⁴⁻¹⁶.



Figura 2. Operación “Átomos por la paz”, 1955. Izq. Estampilla pronuclear. Der. Símbolo del programa. Fuente: “The Energy of a Bright Tomorrow”: the Rise of Nuclear Power in Japan¹⁸.

Fue entonces el miedo implantado en el subconciencia social, lo que despejó el camino para el desarrollo inicial de la tecnología nuclear. El terror de los americanos por sufrir lo que le hicieron a los japoneses, y el afán de los socialistas por igualar su poder con el occidente, ocasionaron un apoyo incondicional por parte del pueblo, a la retórica pronuclear de sus gobiernos.

LOS EVENTOS QUE “NUNCA SUCEDIERON”

Como era de esperarse, los accidentes nucleares fueron poco documentados y la población prefería

asumir el riesgo a ver comprometida su seguridad¹⁸. Eventos como los ocurridos en Kasli (Rusia), que contaminó un área de 600 km² y Winscape Pile (Gran Bretaña), que afectó más de 500 km² y se le atribuyeron más de 200 casos de cáncer tiroideo en niños durante 1983, pudieron ser vistos como incidentes alejados y reservados de seguridad nacional, por lo que ni siquiera se conocen cifras epidemiológicas oficiales^{14,18-20}.

Incluso, fueron ignorados los ocurridos dentro de territorio norteamericano, como el de Indiana Point en 1963, que eliminó la fauna de los ríos locales o

el de Monticelo en 1971, que vertió más de 190 000 L de agua radioactiva al principal río del país, el Mississippi¹⁹⁻²¹. En 1979, el accidente de Harrisburg ocasionó la evacuación de 300 000 personas y el de Erwin (Tennessee), contaminó directamente a más de mil habitantes, ambos casos relacionándose con la aparición de severas malformaciones congénitas dentro de la población y un importante aumento en la incidencia de cáncer. Lo curioso es que estos eventos, pese a su magnitud, apenas si tuvieron impacto en la prensa y la opinión popular¹⁹⁻²¹.

EL ROSTRO DE LA TECNOLOGÍA NUCLEAR

No fue sino hasta el 16 de abril de 1986, con el *Chornobil's kakatastrofa* o accidente de Chernóbil, en la central energética nuclear del mismo nombre dentro de territorio ucraniano, que la humanidad pudo comenzar a vislumbrar, estupefacta e impotente, las consecuencias de una tecnología tan poderosa y desconocida. Por ahora, este suceso ha sido considerado el accidente nuclear más grave según la Escala Internacional de Accidentes Nucleares, INES por sus siglas en inglés (ver Figura 3)^{19,22}, y uno de los mayores desastres medioambientales de la historia, alcanzando el nivel máximo de siete en su nomenclatura. Además de Chernóbil, solo se ha designado dicha categoría al desastre de la planta nuclear de Fukushima, Japón, el 11 de marzo de 2011²³⁻⁷.



Figura 3. Escala Internacional de Eventos Nucleares – INES. Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica²².

Según algunas investigaciones realizadas por el gobierno ucraniano, a solo dos minutos de haberse

iniciado una incontrolada generación de vapor en el núcleo del reactor 4, por errores aparentemente humanos y de maquinaria, este queda fuera de control superando en 100 veces los máximos admitidos de presión y temperatura. Estallan por sobrepresión los conductos de alimentación y la coraza protectora de grafito del núcleo, produciéndose un pavoroso incendio de unos 2500°C y la expulsión al exterior de ocho toneladas de combustible radiactivo -con un período de desintegración promedio de 30 años. Tras una doble explosión que destruye una parte del techo de la planta (ver Figura 4)²⁹, se libera un total de radioactividad 200 veces superior a la de las bombas en Japón y mata instantáneamente a dos empleados, además de otros 31 en los tres meses siguientes²³.



Figura 4. Reactor 4 de la planta de Chernóbil, Ucrania, tras la catástrofe nuclear. Fuente: Consecuencias del accidente de Chernobyl 29.

La explosión afecta en corto plazo a unas cinco millones de personas y contamina el 23% de la vecina Bielorrusia y parte de Rusia, Ucrania, República Checa y otras naciones europeas (Imagen 5)^{24,28,32}. Gracias a una rápida reacción internacional, equipos de técnicos, voluntarios, ingenieros, bomberos y brigadas especiales conocidas como “los liquidadores”, hicieron limpieza del material y reparación de la planta, mientras se exponían a cantidades enormes de radiación y la reacción pudo ser controlada evitando una segunda explosión, la que se considera, hubiera podido afectar la totalidad de Europa. Se construyeron además túneles y muros subterráneos de absorción del material radioactivo, además de un sarcófago de concreto para sellar las fugas y evitar más escapes de radiación^{23,28}.

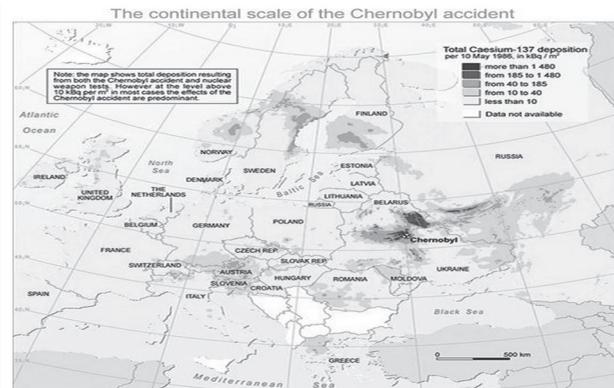
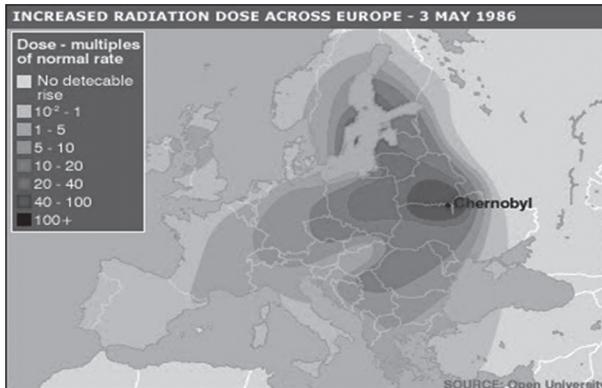


Figura 5. Mapa en escala de la radiación en Europa tras accidente de Chernóbil. Izq. Mayo de 1986. Fuente: Chernobyl, the accident²⁴. Der. Mayo de 2007. Fuente: Chernobyl: January 2009 archives. Chernobyl and eastern Europe²⁸.

En consecuencia, las poblaciones dentro de un radio de 32 Km² fueron evacuadas inmediatamente, extendiéndose esta zona progresivamente hasta los 155 000 Km², conforme aumentaban los niveles de radiación alrededor de la planta; los cultivos y pastos de rebaño circundantes fueron destruidos por orden gubernamental. Tras el desastre, un área de 4 Km² de pinos adquiere un color marrón morado por la muerte de las coníferas, adquiriendo el nombre de “El Bosque Rojo”. Se registra entonces la muerte masiva de plantas y animales, así como la pérdida de la capacidad reproductiva de los sobrevivientes en un área de 30 a 40 km². Todavía se mantiene la orden de evacuación y restricción agrícola y de pastoreo en varios kilómetros, pues aún se considera la zona como de alto peligro radiológico. En algunos lugares de Suecia, Finlandia, Alemania, Gran Bretaña, Noruega, Austria, Italia, Lituania y Polonia, debieron levantarse importantes restricciones alimentarias por el hallazgo de alta radioactividad en la carne del ganado importado y local, la mayoría de las cuales aún están vigentes²³⁻³².

De todas maneras y debido al hermetismo soviético, fueron necesarios 18 días para que la comunidad internacional se percatara de lo sucedido en Chernóbil. La nube radioactiva tuvo que llegar hasta los observatorios de Suecia, para que Europa detectara la situación y la URSS tuviera que aceptar los acontecimientos sucedidos.

Una década y media más tarde, entidades no gubernamentales estimaron en 20 000 las personas muertas o con pronóstico fatal por contaminación directa o afecciones relacionadas a la radiación, y en cerca de 300 000 las aquejadas por distintos tipos de cáncer. En 2006, el ministro de Sanidad ucraniano afirmó que más de 2 400 000 personas, incluyendo

428 000 niños (ver Figura 6)²⁹, sufren problemas de salud tras la catástrofe y entre 560 000 y 900 000 de los liquidadores han quedado inválidos; esto sin tener en cuenta los afectados psicológicamente por el desplazamiento o estrés postraumático^{21,33}. Un estudio del Comité de Responsabilidad Nuclear, ha estimado que el accidente de Chernóbil causará 475 368 víctimas mortales por cáncer³⁴.



Figura 6. Alexandra Prokopenko de 9 años con su padre Vitaly. Alexandra tiene hidrocefalia a causa de la radioactividad. Fuente: Consecuencias del accidente de Chernobyl²⁹.

Desde el incidente, en Suecia se ha registrado un aumento en la incidencia de cáncer y en Baviera, Alemania, se han presentado entre 1000 y 3000 nacimientos con defectos congénitos. Asimismo se reportaron unos 10 000 casos nuevos de cáncer de tiroides en Bielorrusia y entre 10 000 y 20 000 en el resto de Europa, sin contar los demás territorios de la ex Unión Soviética, donde no se publican datos oficiales^{20,21,34,35}.

De todas maneras y según cálculos científicos, la probabilidad que ocurra un incidente nuclear en las plantas europeas modernas es apenas del 16%, ajustándose a 1% para el nivel de accidente y al 0,0009% para que ocurra una catástrofe^{27,35-40}. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en estos análisis, no se tienen en cuenta factores de riesgo

impredecibles, como el terremoto y posterior tsunami que desencadenó los daños en la central nuclear de Fukushima^{25,7}.

LA TECNOLOGÍA NUCLEAR COMO OPCIÓN ENERGÉTICA

Incluso con estas historias, para la mayoría de gobiernos la tecnología nuclear todavía representa una atractiva fuente energética. Si apenas en 1956, se puso en marcha en Inglaterra la primera planta nuclear generadora de energía para uso comercial, para 1990 ya habían 420 reactores en 25 países, con una potencia individual hasta de 1200 Megawatts eléctricos (MW(e))⁴⁰. Para 2007, los reactores nucleares llegaron a alimentar un consumo mundial anual de 372 002 MW(e) (ver Figura 7 izq)⁴¹, correspondiente al 30% de la energía utilizada en Europa y el 17% de la demanda mundial. Esta cifra ha descendido al 13,4% en 2008 (ver Figura 7 der)⁴⁷, pero ha repuntando al 14% en 2010. Este fenómeno no se debe a la inactivación o restricción de las plantas

existentes, sino por la creciente y acelerada demanda eléctrica de las economías emergentes como China, Brasil e India, que se basan en el carbón como fuente principal de energía (ver Figura 8)⁴⁰⁻². De todas maneras, aquellos países han ido incrementado su producción energética nuclear desde 1993 hasta 2002, en 4590, 732 y 195 veces, respectivamente^{40,42}. Esta producción está limitada y vigilada según los tratados internacionales firmados a partir de 1968, que ratificaron el desarme nuclear de las Naciones y en el que se comprometieron a utilizar dicha tecnología únicamente con fines pacíficos y de investigación civil; se excluyen por supuesto, a los Estados Nuclearmente Armados como Estados Unidos, Reino Unido, Francia, Rusia y China^{17,43-45}. Todos los países del mundo han aceptado, firmado y acatado estos acuerdos, excepto por India, Pakistán, Israel y Corea del Norte, quienes se abstuvieron de firmar los tratados y probablemente han desarrollado armamento nuclear^{17,43-5}.

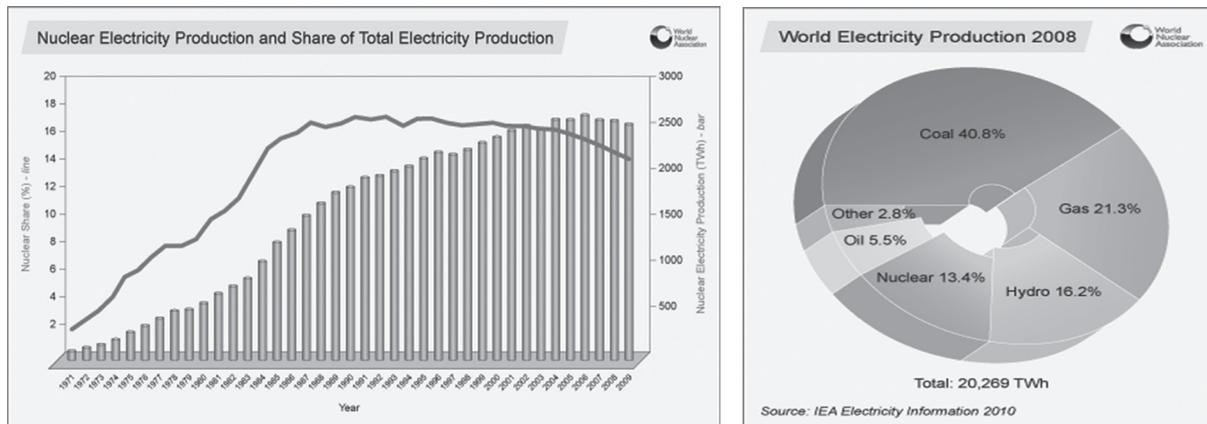


Figura 7. Izq. Comportamiento de la producción de electricidad nuclear y total de producción energética. Der. Segmentación de la producción eléctrica mundial en 2008, obteniendo el 13,4% de la energía nuclear. Fuente: World Nuclear Association⁴¹.

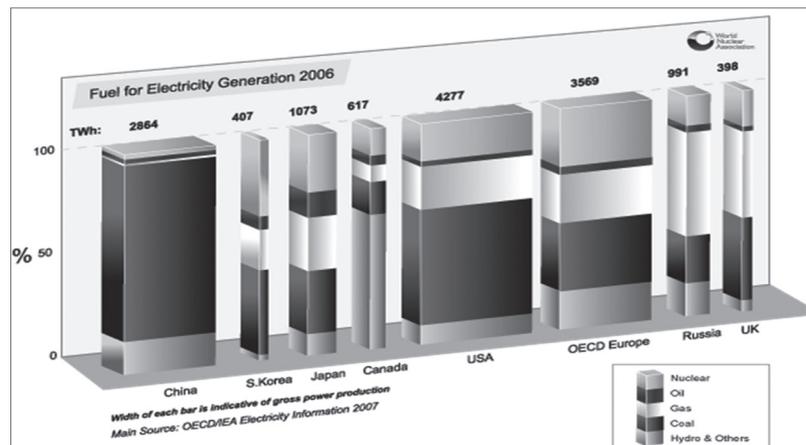


Figura 8. Combustible utilizado por países, para generación de electricidad en 2006. Fuente: World Nuclear Association⁴¹.

Para diciembre de 2009, la *International Atomic Energy Agency* contaba con 438 reactores energéticos en 31 países (ver Figura 9)^{3,46,47}, más otros 33 en construcción, 94 planeados y 222 en propuesta⁴⁶⁻⁴⁸, pese que algunos proyectos fueron congelados en 2011 tras lo ocurrido en Fukushima⁴⁹⁻⁵¹. Esta tendencia de proliferación nuclear se debe, en parte, a la alerta mundial por la escasez de combustibles fósiles y el deseo de las naciones de volverse cada vez más independientes de su importación, ya que la mayoría de yacimientos comprobados se encuentran en regiones conflictivas y bastante volátiles políticamente⁴⁹. También se tiene en cuenta el alto costo y poco desarrollo en mantenimiento y potencia de energías alternativas renovables como la eólica, geotérmica, mareomotriz o solar^{52,53}. Después de todo, un kilo de uranio produce el equivalente eléctrico a 1000 toneladas de carbón, sus emisiones a la atmósfera son mucho más bajas que las dadas por los combustibles fósiles y no requiere extensas superficies para la construcción de sus plantas, lo que permite la preservación del medio circundante. El único requisito que presenta para su utilización, es poseer una fuente hídrica permanente cercana, como algún río o lago, con el fin de garantizar la disponibilidad permanente de líquido usado para refrigeración y generación del vapor. Debido a esto y pese a la “remota” posibilidad de una catástrofe medioambiental, se considera a la energía nuclear más ecoamigable que las fuentes de energía convencionales^{19,23,35-40}.

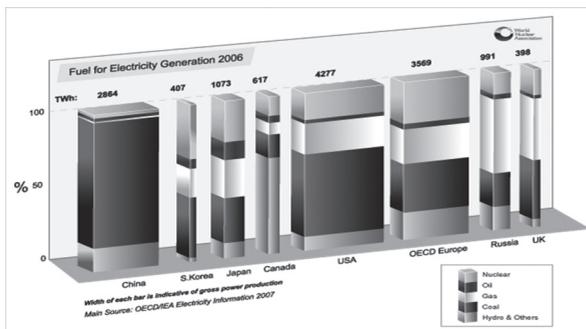


Figura 9. Centrales energéticas nucleares mundiales en 2011. Fuente: Revista SEMANA³.

Respecto a Colombia, es un país cuya fuente energética principal proviene de represas hidroeléctricas y no genera ni utiliza electricidad nuclear. Posee solo un reactor nuclear de mínima capacidad en manos del Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS, y es usado con fines económicos, de

investigación y de desarrollo, más no para producción energética o desarrollo militar^{54,55}.

Esto en parte, podría considerarse un alivio. El sistema de salud colombiano sencillamente no podría contener un evento adverso como los sucedidos en Rusia, Ucrania o Japón. En este país no se cuenta con los recursos, la infraestructura ni el personal capacitado para atender una emergencia de tipo atómica, por lo que cualquier incidente sería difícilmente contenido.

DISCUSIÓN

Aun hoy, se mantiene la lucha mediática con respecto al desarrollo nuclear con dos bandos opuestos: uno antinuclear, basado en el pánico histórico de las explosiones japonesas, la Guerra Fría y las catástrofes de Chernóbil y Fukushima, que se alimenta de los nuevos hallazgos de mutaciones ambientales y de los informes epidemiológicos de alteraciones genéticas en las poblaciones^{4,5,10,14-6,19-21,24,28,29,31-4,37}. Por otro lado, el grupo pronuclear es ambientado en el optimismo de los nuevos esquemas de seguridad industriales, a la vez que se sostiene en la esperanza de la sostenibilidad económica y energética^{1-2,17,18,35,38,41,42,46-50}.

Tal vez fue la ignorancia de los científicos respecto a los efectos biológicos de los elementos atómicos, junto a la presión militar, lo que estimuló el rápido desarrollo de una tecnología nueva, potente, inestable y peligrosa^{5,10,12-5}. Se permitió así, gracias al afán político, la precoz aplicación civil de una ciencia compleja, cuando todavía no era comprendida del todo. Sin embargo, con el advenimiento de nuevos estudios y evidencia, cada vez mejor sustentada, algunos gobiernos han decidido dar un viro en sus políticas energéticas, a la vez que desestiman sus intereses económicos y se independizan de las energías fósil y atómica de manera sincrónica^{3,43,48,50,51}.

CONCLUSIONES

La decisión no es sencilla de todas maneras. Por un lado, está la “energía del futuro”, un polo de desarrollo para los pueblos, que mueve miles de millones de dólares y promete liberar a la humanidad de su dependencia por los combustibles contaminantes. Se ofrece como una opción para luchar contra el cambio climático y garantiza un flujo energético estable para los países. Por el otro, está la posibilidad de una hecatombe dada por la

aplicación militar de armas nucleares o daños en la infraestructura civil secundarios a una catástrofe natural, un ataque terrorista o el conflicto bélico; el peligro siempre latente de la liberación de elementos nucleares enriquecidos y sus consecuencias para la salud humana y del medio ambiente. Mutaciones, pánico social, cáncer y malformaciones congénitas, son solo algunas de las secuelas con las que debería estar dispuesto a lidiar el sistema de salud de cada nación que decida promover la tecnología atómica.

Las naciones emergentes desean tanto adquirir tecnología nuclear y las desarrolladas guardarla de una forma tan celosa, que se alimenta la percepción de ser una joya energética. La Historia relata numerosos ejemplos, evoca demasiadas alarmas y sin embargo, hay quienes suelen preferir correr el riesgo de volverse un país del llamado “Club Atómico”. Existen otras fuentes que, con los incentivos adecuados, pueden generar electricidad de una manera más limpia, económica y eficaz, sin mayores repercusiones ecológicas o de salud, ni emisiones radioactivas. No se puede aguardar hasta que se reciba la lección definitiva por la arrogancia del hombre al querer manipular las sustancias primordiales del Universo, o en fin y como decía el ilustre Albert Einstein, ¿qué tanto se podría esperar de la primera tecnología superior a sus propios inventores?

CONFLICTOS DE INTERÉS Y DECLARACIÓN ÉTICA

No se exponen conflictos de interés ni relación alguna con las instituciones mencionadas. Así mismo, el autor tampoco posee conexión con organizaciones relacionadas con la investigación o el desarrollo de tecnología nuclear, ni con entidades ambientalistas antinucleares.

Al ser de tipo descriptivo, el presente estudio no requirió la intervención en individuos ni poblaciones. Tampoco se hace mención de características individuales de identificación, ni se refiere la posición personal del autor.

FINANCIACIÓN

Se contó solo con recursos propios del autor para la realización de este manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Analysis to uranium supply to 2050. International Atomic Energy Agency. Austria. May 2001.

2. Kevin Shaw. Characteristics of uranium and its compounds. U.S. Department of Energy Office of Environmental Management. United States. Fall 2001. Disponible en: <http://web.ead.anl.gov/uranium>
3. Encrucijada nuclear. Revista SEMANA. 2011 Abr 23;Sect. Economía:Energía.
4. Holm D. Un Futuro Para el Mundo en Desarrollo Basada en las Fuentes Renovables de Energía. ISES. 2005 p. 40. Disponible en: <http://whitepaper.ises.org>.
5. La bomba de Nagasaki sigue causando enfermedades 40 años después. Wicked Magazine. 2010 Dic 16;Sect.Japón.
6. Official U.S. Army. Second atomic bombing of Nagasaki, Japan. Library of Congress Prints and Photographs Division Washington, D.C. 20540 USA. 1945 Aug. Disponible en: <http://hdl.loc.gov/loc.pnp/cph.3a36860>
7. Official U.S. Army. General panoramic view of Hiroshima after the bomb... shows the devastation... about 0.4 miles. Library of Congress Prints and Photographs Division Washington, D.C. 20540 USA. 1945. Disponible en: <http://hdl.loc.gov/loc.pnp/cph.3c34192>
8. Frank RB. Tokyo Burns: Raid of March 9-10. Downfall: The end of Imperial Japanese Empire. Ed. Random House ISBN: 0-679-41424-X. U.S.A. 1999. Disponible en: <http://www.nytimes.com/books/first/f/frank-downfall.html>.
9. Official U.S. Army. Tokyo burns under B-29 firebomb assault. . Library of Congress Prints and Photographs Division Washington, D.C. 20540-4 370 USA. May 26 1945. Disponible en: <http://hdl.loc.gov/loc.pnp/cph.3c11427>.
10. Sekimori G. The atomic bombings of Hiroshima and Nagasaki: Total Casualties. Hibakusha: Survivors of Hiroshima and Nagasaki. 1998-2011. Disponible en: http://www.atomicarchive.com/Docs/MED/med_chp10.shtml.
11. Lynzy. Hiroshima bombing affects. Disponible en: http://hubpages.com/hub/Hiroshima_Bombing_Affects.
12. Yonhju K. Japan invades Manchuria 1931. 2006 Oct 26. Disponible en: <http://www.thenagain.info/webchron/china/JapanManchuria.html>
13. Ford BJ. Dangerous ideas. En: Secret weapons technology, science & the race to win World War II. Ed. Osprey Publishing ISBN: 978-1-84908-390-4. EUA 2010;186-218.
14. Park S. Japanese crime of the World War Two. Seoul national Publication. Seoul. 1989. p.26.
15. Judt T. Postwar: A History of Europe since 1945. Ed. The Penguin Press ISBN 1-59420-065-3. New York. 2005.
16. Global Security. German special weapons. En: Weapons of Mass Destruction (WMD). 2011. Disponible en: <http://www.globalsecurity.org/wmd/world/germany/nuke.htm>.
17. Wolf JM. Eurochemic (1956-1990). Nuclear Energy Agency: Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris 1996 [Fig p.52].
18. Origins eHistory. Atoms for Peace U.S. postage stamp from 1955. En: [Images]“The Energy of a Bright Tomorrow”: the Rise of Nuclear Power in Japan. 2011 Jun;4(9). Disponible en: <http://ehistory.osu.edu/osu/origins/images.cfm?articleid=57>
19. Saygun H. Major Nuclear Accidents and their implications for the evolution of nuclear power. The Turkish model for transition to nuclear power. Disponible en: <http://www.edam.org.tr/EDAMNukleer/section2.pdf>
20. Simon SL. Introduction to nuclear/radiation accidents, incidents and events. National cancer Institute. United States. Spr 2011.
21. Volkherimer W. The Accident of Chernobyl Nuclear Power Plant and its consequences. USSR Committee on the utilization of atomic energy.
22. Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos: INES. Organismo Internacional de Energía Atómica. Disponible en: http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/Spanish/ines_sp.pdf
23. Nuclear accidents ABCs. Union of concerned scientists. Washington D.C. Mar 2011.
24. Bohmer N. Chernobyl, the accident. Rusia. 1993.
25. Fukushima Nuclear Accident Analysis Report. Tokyo Electric Power Company, Inc. Japan. Jun 20, 2012.
26. Fukushima DAIICHI: ANS Committee Report. American Nuclear Society. Jun 2012. Disponible en: http://fukushima.ans.org/report/Fukushima_report.pdf
27. The official report of the Fukushima accident independent investigation commission. The National Diet of Japan. 2012.

- Disponibile en: http://www.nirs.org/fukushima/naaic_report.pdf
28. Resnicoff M. Chernobyl: January 2009 archives. Chernobyl and eastern Europe. 2013. Disponible en: <http://www.chernobyl.com/blog/chernobyl/2009/01/>
 29. López ME. Consecuencias del accidente de Chernobyl. Jun 3, 2010.
 30. Chernobyl disaster and its aftermath: Information prepared for the meeting of IAEA experts – Part 1. The compilation. Aug 1986.
 31. Izrael YA. Chernobyl: the radioactive contamination of natural environments. Leningrad, Russia. 1990.
 32. Tikhomirov FA, Shcheglov AI. Radiological consequences of the Kyschtyme and Chernobyl radiation accident in forest ecosystems. Ecology regions of nuclear power plants. 1994;(1):71-88.
 33. Frot J. Las Causas del evento de Chernóbil. Nov 2002. Disponible en: http://www.cnea.gov.ar/xxi/temas-nucleares/chernobil/causas_del_evento.pdf
 34. Gofman JW. Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure. Committee For Nuclear Responsibility. 1990.
 35. Radicella R. Chernóbil: los hechos. Comisión Nacional de Energía Atómica. 2007;7(27-28):23-29.
 36. Kumar A, Ramana MV. The limits of safety analysis: severe nuclear accident possibilities at the PFBR. Economic & Political Weekly. Oct 22, 2011;43(46):44-48.
 37. Health Risk Assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation. World Health Organization. May 2012.
 38. Otway HJ. Nuclear Power Plant Safety. IAEA. 1975.
 39. Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants. U.S. Atomic Energy Commission Report WASH-740. Mar 1957.
 40. Otway HJ, Lohrding RK, Battat ME. A Risk Estimate for an Urban-Sited Reactor". Nuclear Technology. Oct 1971. (12):173-184.
 41. Nuclear Power in the World Today. World Nuclear Association. Apr 2012. Disponible en: <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Nuclear-Power-in-the-World-Today/#.UXMhBB1yGSo>
 42. Renewable energy sources. Global nuclear energy scenario. Nov 13 2009. Disponible en: <http://newenergyportal.wordpress.com/2009/11/13/global-nuclear-energy-scenario/>
 43. Taylor TB. Proliferation of nuclear weapons. USA. Disponible en: <http://www-ee.stanford.edu/~hellman/Breakthrough/book/pdfs/taylor.pdf>
 44. Cirincione J. A Global Assessment of Nuclear Proliferation Threats. The Weapons of Mass Destruction Commission. United Nations. Sweden. 2006.
 45. Lavoy PR. Predicting nuclear proliferation: a declassified documentary record. Strategic Insights. Jan 2004;1(3).
 46. Nuclear electricity generation. Uranium Information Centre. International Energy Administration. Disponible en: <http://www.scaruffi.com/politics/nuclear.html>
 47. Country Nuclear Power Profiles. IAEA. Ed. 2012. Vienna. Disponible en: http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2012_CD/pages/index.htm
 48. International status and prospects of nuclear power. Board of Governors General Conference. International Atomic Energy Agency. Sep 2010.
 49. Hernández N. Venezuela en el juego nuclear. Caracas. 2009. Disponible en: http://www.cmpc-consult.com/documentos_web/VENEZUELA_en-el-juego-nuclear.pdf
 50. World Energy Perspective: Nuclear Energy One Year After Fukushima. World Energy Council. London. 2011.
 51. IAEA Projects slower nuclear growth after Fukushima. International Atomic Energy Agency. Sep 2011.
 52. Jaffe AM, Medlock III KB, Soligo R. The status of world oil reserves: conventional and unconventional resources in the future supply mix. The James A. Baker III Institute for Public Policy of Rice University. 2011.
 53. Owen NA, Inderwildi OR, King DA. The status of conventional world oil reserves—Hype or cause for concern? Energy Policy. 2010;(38):4743-9.
 54. El reactor de INGEOMINAS. Servicio Geológico Colombiano. Abr 2013. Disponible en: <http://www.ingeo Minas.gov.co/Nucleares/Reactor-Nuclear.aspx>
 55. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. Resolución No. 181475 de noviembre 12 de 2004/sobre instalaciones nucleares. Bogotá. Colombia. 2004.