

Escala INES - Escala Internacional de Sucesos Nucleares

La escala INES (siglas en inglés de International Nuclear Events Scale, Escala Internacional de Sucesos Nucleares) es un instrumento para cuantificar la gravedad de un suceso nuclear y radiológico (ya sean accidentes o incidentes nucleares).

La escala INES se utiliza en todo el mundo para comunicar al público información sistemática acerca de la importancia de dichos sucesos nucleares y radiológicos desde el punto de vista de la seguridad de la misma forma que se utilizan las escalas Richter para cuantificar la intensidad de un terremoto o la escala Celsius para medir la temperatura, la escala INES indica la importancia de los sucesos derivados de una amplia gama de actividades, que abarcan el uso industrial y médico de fuentes de radiación, la explotación de instalaciones de energía nuclear y el transporte de material radioactivo.



Los sucesos nucleares se pueden clasificar en esta escala INES en siete niveles. Los sucesos de los niveles 1 a 3 se denominan "incidentes", mientras que en el caso de los niveles 4 a 7 se habla de "accidentes". Cada ascenso de nivel en la escala indica que la gravedad de los sucesos es, aproximadamente, diez veces superior. Cuando los sucesos no revisten importancia desde el punto de vista de la seguridad se los denomina "desviaciones" y se clasifican "Debajo de la escala / Nivel 0".

Descripción por niveles de la escala INES:

Accidente grave - Nivel 7 de la escala INES

El nivel 7 de la escala INES es el nivel máximo al que se puede clasificar un suceso. En este nivel se clasifican los accidentes nucleares más graves. Debido a la naturaleza a gran escala de este nivel, los eventos del nivel 7 caen bajo los aspectos humanos y ambientales.

- Efectos sobre las personas y el medio ambiente.

Los accidentes nucleares clasificados en el nivel 7 de la escala internacional de sucesos nucleares implican la liberación grave de materiales radioactivos con amplios efectos en la salud y el medio ambiente. Para controlar tal desastre, se necesitan medidas de emergencia de gran alcance. De acuerdo con las normas del OIEA, un accidente en el nivel 7 de INES se clasifica cuando las emisiones totales corresponden a unas pocas decenas de miles de terabecquerel (TBq).

- Accidentes nucleares clasificados con el nivel 7 de la escala INES.

Hasta ahora se han producido dos accidentes de nivel 7: el desastre nuclear de Chernobyl y el desastre nuclear de Fukushima. En ambos casos, se liberaron grandes cantidades de material radioactivo, lo que significó que se debían evacuar grandes áreas.

El desastre de Chernobyl ocurrió el 26 de abril de 1986. Las condiciones inseguras durante un procedimiento de prueba provocaron un accidente nuclear crítico. A consecuencia del accidente se produjo una poderosa explosión que

expulsó una fracción significativa de material radioactivo del núcleo al medio ambiente, lo que resultó en un eventual número de muertos.

El desastre nuclear de Fukushima Daiichi se produjo por una serie de eventos que comenzaron el 11 de marzo de 2011. El mayor daño causado a la energía de respaldo y los sistemas de contención causados por el terremoto y tsunami de Tohoku de 2011 provocó el sobrecalentamiento y la filtración de algunos de los reactores nucleares de la planta nuclear de Fukushima I.

Accidente importante - Nivel 6 de la escala INES

En el caso de un accidente de nivel 6 en la escala INES, se libera una cantidad considerable de material radioactivo, y es probable que se deban implementar las medidas de emergencia planificadas.

Los eventos con nivel 6, al igual que los de nivel 7, tienen consecuencias en aspectos humanos y ambientales porque la cantidad de material radioactivo liberado influye directamente en el entorno de vida.

- Efectos sobre las personas y medio ambiente.

Un accidente atómico de nivel 6 en la escala internacional de sucesos nucleares implica una liberación importante de materiales radioactivos. Es probable que esta liberación requiera la aplicación de las contramedidas previstas.

- Accidentes nucleares clasificados con el nivel 6

En la historia de los accidentes nucleares encontramos un accidente que ha sido clasificado como nivel 6: el accidente con un tanque de almacenamiento en la planta de reprocesamiento de combustible nuclear de Mayak, cerca de Kyshtym. En el accidente nuclear de Mayak se liberaron alrededor de 2×10^{17} becquerel de radioactividad.

Veamos brevemente la historia de la planta nuclear de Mayak. La construcción y el lanzamiento de la bomba atómica en las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki fueron sucesos decisivos para la finalización de Segunda Guerra Mundial. Por este motivo los rusos iniciaron la carrera nuclear para poder fabricarla. El eje central de este proyecto era la futura planta de Mayak, que debía servir para producir plutonio. La planta fue construida muy rápidamente y en absoluto secreto durante el período de 1945-1948. La ciudad y el complejo fueron llamados Cheliabinsk-40 y posteriormente Cheliabinsk-65. Finalmente, a partir de 1994 pasó a denominarse Ozersk. El primer reactor nuclear estuvo a punto en diciembre de 1948.

En el complejo nuclear de Mayak se han producido numerosas fugas radioactivas. Estas fugas han provocado que en la actualidad se trate de uno de los puntos más contaminados del planeta. Las tres fugas radioactivas más importantes fueron:

- Derrame deliberado de materiales radioactivos en el río Tech.
- Explosión en un edificio de almacenamiento de residuos nucleares en 1957 (alcanzó el nivel 6 según la escala INES).
- Tormenta de viento que esparció materiales radioactivos que provenían de sedimentos del lago Karachay en 1967.

Sumando todas las fugas nucleares se cree que el total de radiación liberada al medio ambiente desde 1948 (cuando se inauguró el complejo) hasta

1990 es de 55.000 PBq (peta, 1×10^{15}). Una cantidad de radiación mayor que la radiación liberada en el accidente nuclear de Chernobyl, que fue de unos 52.000 PBq).

- Derrame en el río Tech. Durante mucho tiempo no se conocieron mucho las consecuencias de la radioactividad sobre las personas y el medio. Es por ello que no se tuvieron demasiado en cuenta las medidas seguridad de la planta, que emitía partículas radiactivas constantemente. El ejemplo más claro de esto es el hecho de que, especialmente entre 1948 y 1956, se tiraba el agua contaminada con materiales radioactivos en los lagos de alrededor de la central nuclear de Mayak y también directamente al río Tech, que más tarde se une al río Obi. La población de Ozersk no estaba informada, de manera que continuaban utilizando el agua para uso doméstico. Esto ocasionó graves problemas de salud para la población y se hablaba de la "enfermedad del río", dado que no se conocía qué se estaba haciendo en la planta. Aunque todavía no está claro qué consecuencias ha supuesto para la salud de las personas de la zona, se cree que hasta 124.000 personas recibieron dosis importantes de radiación.



de

El accidente nuclear de Kyshtym. Este accidente nuclear, que tuvo lugar el 29 de septiembre de 1957, es el tercero más grave que se ha producido en la historia, detrás de los de Chernobyl y Fukushima, y recibe el nivel 6 según la escala INES. Todo empezó debido que se estropeó el sistema de refrigeración de un tanque que contenía residuos radioactivos. Esto provocó un gran calentamiento, que condujo a una serie de reacciones que provocaron una explosión química (no nuclear). La gran fuerza de esta explosión (equivalente a 70-100 toneladas de TNT), rompió la barrera de hormigón y se dispersaron al medio ambiente hasta la mitad del material contenido en el tanque. En total, se cree que entre 74 y 1850 PBQ (entre 2 y 50 MCi) fueron liberados. Las consecuencias del accidente fueron muy importantes, aunque no hubo ningún trabajador fallecido directamente por la explosión.

Ver http://www.physics.harvard.edu/~wilson/publications/pp747/techa_cor.htm
<http://www1.american.edu/projects/mandala/TED/ural.htm>

Accidente con consecuencias de mayor alcance - Nivel 5 de la escala INES.

Los accidentes en el nivel 5 de la escala INES se pueden dividir en dos aspectos: las personas y el medio ambiente y las barreras y controles radiológicos.

- Personas y medio ambiente.

En el aspecto de las personas y el medio ambiente, un suceso nuclear de nivel 5 implica la liberación limitada de materiales radioactivos, que probablemente requiere la aplicación de algunas de las contramedidas previstas. En el nivel 5 ya se pueden producir defunciones por radiación.

- Barreras y controles radiológicos.

Este tipo de accidentes nucleares implican daños graves en el núcleo del reactor nuclear. Liberación de grandes cantidades de materiales radioactivos

dentro de una instalación, con alta probabilidad de exposición de la población, provocada posiblemente por un incendio o un accidente de criticidad grave.

- Accidentes nucleares clasificados en el nivel 5 de la escala INES

En la historia de la energía nuclear encontramos 4 accidentes que han sido clasificados en este nivel de la escala INES: Windscale fire, Three Mile Island, Chalk River, y Goiânia.

El accidente nuclear de Windscale fire, también conocido como Sellafield (Reino Unido), ocurrió el 10 de octubre de 1957. El recocido del moderador de grafito en un reactor militar enfriado por aire hizo que el grafito y el combustible metálico de uranio se incendiaran, liberando material de pilas radioactivas como polvo en el medio ambiente.

La central de Three Mile Island se encuentra a unos 16 km de Harrisburg en el estado de Pennsylvania, en Estados Unidos. Se trata de una central nuclear de potencia con dos reactores nucleares de agua a presión. El accidente nuclear de la central nuclear de Three Mile Island se produjo el 28 de marzo de 1979, un año después de la puesta en funcionamiento de la unidad 2. Sobre las 4 de la madrugada se desconectó el circuito encargado del suministro de agua a las turbinas de vapor lo que provocó que dejara de funcionar el circuito de refrigeración del circuito primario. El accidente se produjo por una combinación de errores de diseño y de operación, causando una pérdida gradual de refrigerante, lo que llevó a una fusión parcial del núcleo del reactor. Se liberó una cantidad desconocida de gases radioactivos a la atmósfera, por lo que las lesiones y enfermedades que se han atribuido a este accidente solo pueden deducirse a partir de estudios epidemiológicos.



Chalk River Laboratories o Chalk River Labs, anteriormente llamados Chalk River Nuclear Laboratories, son unas instalaciones situadas cerca de la población Chalk River, Ontario (Canadá) dedicada a la investigación de las reacciones nucleares. Durante los años 50, estas instalaciones sufrieron dos importantes accidentes nucleares.



La instalación nació en 1942 como consecuencia de la colaboración entre los investigadores nucleares británicos y canadienses. En 1944 se inauguraron los Laboratorios Chalk River y en septiembre de 1945 la instalación puso en funcionamiento el primer reactor nuclear fuera de Estados Unidos.

El NRX es un reactor nuclear de investigación, moderado por agua pesada, refrigerado por agua ligera. Se construyó en época de guerra con el objetivo de utilizarlo con fines militares, aunque los diseñadores contemplaban muchas otras aplicaciones civiles. En la actualidad los Chalk River Laboratories tienen una gran importancia en las aplicaciones médicas de la energía nuclear.

- Primer accidente nuclear en Chalk River.

El primer accidente ocurrió el 12 de diciembre de 1952. El reactor NRX sufrió un fallo en el apagado que, junto con varias malas decisiones de los operadores de las instalaciones, provocaron una reacción en cadena de Fisión nuclear que aumentó en más del doble la potencia del reactor nuclear. Los operarios abrieron las 4 válvulas de contención de la presión en el sistema de refrigeración de la instalación de energía nuclear, lo que provocó una explosión que destruyó el núcleo del reactor nuclear, provocando un derrame de combustible nuclear.

Inexplicablemente, las barras de control no bajaron completamente en el núcleo del reactor. Una serie de explosiones de gas de hidrógeno (o explosiones de vapor) lanzó la cúpula de cuatro toneladas por el aire. Miles de partículas de fisión nuclear se liberaron a la atmósfera junto con un millón de litros de agua contaminada radioactivamente. El agua contaminada tuvo que ser bombeada fuera de sótano y se vertió en zanjas poco profundas, cerca del río Ottawa.

El núcleo del reactor NRX no pudo ser descontaminado, sino que tuvo que ser enterrado como residuo radioactivo. En su lugar se colocó un nuevo reactor nuclear, aún más potente, para poder continuar con su funcionamiento.

Como curiosidad, un joven Jimmy Carter (un ingeniero nuclear de la Marina de EE.UU.) fue uno de los cientos de militares canadienses y estadounidenses que recibieron la orden de participar en la limpieza NRX como consecuencia de este accidente nuclear. Posteriormente sería presidente de EE.UU.

En ese momento todavía no se había creado la Escala INES (Escala Internacional de Sucesos Nucleares), pero en la actualidad, debido a las características del accidente se situaría en el nivel 5 de la escala INES (accidente con riesgo fuera del emplazamiento).

- Segundo accidente nuclear de Chalk River

Cinco años más tarde, en 1958, varias varillas metálicas de combustible nuclear de uranio del reactor NRU se sobrecalentaron y rompieron en el interior del núcleo del reactor. Una de las barras dañadas se incendió y se partió en dos, mientras estaba siendo eliminada de la base por una grúa robótica. Esta cayó en un pozo poco profundo de mantenimiento.

La quema de combustible nuclear quedó allí, extendiendo productos de fisión nuclear y la emisión de partículas alfa en todo el edificio del reactor de Chalk River. El sistema de ventilación estaba atascado en la posición "abierta", por lo que se contaminaban las zonas de acceso del edificio, así como un área importante a favor de viento en el sitio del reactor.

Un equipo de relevo de los científicos y los técnicos finalmente extinguieron el fuego. Más de mil hombres estaban involucrados en las operaciones de limpieza después de estos dos accidentes en Chalk River.

- Consecuencias de los accidentes nucleares de Chalk River

Más de 600 hombres fueron necesarios sólo para la limpieza del NRU. Los informes oficiales de la AECL (Atomic Energy of Canada Limited) destacan que muy pocos de estos hombres fueron expuestos a una radiación excesiva, es decir, la mayor parte de las dosis de radioactividad registrados no superaron los niveles que se consideran admisibles para los trabajadores en instalaciones nucleares. Los informes también indicaron que no hubo efectos adversos en la salud causados por las exposiciones radiactivas recibidas. Sin embargo, no se ha realizado ningún seguimiento médico para ver si la población de hombres

involucrados en los accidentes de Chalk River mostraron una incidencia más alta de lo normal de cáncer.

Ver

Chalk River Laboratories - Atomic Energy of Canada Limited (en)

NRX Reactor (en)

Canadian Nuclear Safety Commission (en)

Reactor Accidents at Chalk River: The Human Fallout Gordon Edwards - CCNR President.

- Contaminación radiactiva en Goiânia.

La contaminación radioactiva en Goiânia fue un caso de infección radioactiva que ocurrió en la ciudad brasileña de Goiânia el 13 de septiembre de 1987. Una fuente de radiación de cloruro de cesio no asegurada que quedó en un hospital abandonado fue recuperada por ladrones que desconocían su naturaleza y se vendieron en un desguace. 249 personas fueron contaminadas y 4 murieron.



En 1987, una parte de una unidad de radioterapia que contenía un isótopo radiactivo, ^{137}Cs en forma de cloruro de Cs (CICs), fue robada de un hospital abandonado por merodeadores, luego de lo cual fue desechado.

Después de un tiempo, la pieza se encontró en un vertedero y atrajo la atención del propietario del vertedero, Devara Ferreira, quien luego llevó la fuente médica de radiación a su hogar e invitó a vecinos, familiares y amigos a mirar el polvo que brillaba con luz azul. Se recogieron pequeños fragmentos de la fuente, se frotaron con su piel, se transfirieron a otras personas como obsequios y, como resultado, comenzó la propagación de la contaminación radioactiva. Durante más de dos semanas, más y más personas entraron en contacto con el CICs en polvo, y ninguno de ellos sabía sobre el peligro asociado con él.

Como resultado de la amplia distribución de polvo altamente radioactivo y su contacto activo con varios objetos, se acumuló una gran cantidad de material contaminado por radiación, que posteriormente fue enterrado en el territorio montañoso de una de las afueras de la ciudad, en el llamado almacenamiento cerca de la superficie. Este territorio puede reutilizarse solo después de 300 años.

El accidente en Goiânia atrajo la atención internacional. Antes del accidente de 1987, las normas que regulan el control de la propagación y el movimiento de sustancias radioactivas utilizadas en la medicina y la industria en todo el mundo eran relativamente débiles. Pero después del incidente en Goiânia, la actitud ante estos problemas fue revisada a fondo. Posteriormente, los estándares y conceptos revisados y enmendados comenzaron a implementarse y se estableció un control más estricto para su observancia. La IAEA ha introducido normas de seguridad estrictas para las fuentes radioactivas, cuyo desarrollo fue patrocinado conjuntamente por varias organizaciones internacionales. Brasil tiene requisitos de licencia hoy cada fuente, que le permite realizar un seguimiento de su ciclo de vida, hasta el entierro final.

Las víctimas del accidente nuclear de Goiânia (fallecidos) fueron:

- Leid das Neves Ferreira, 6 años. Era la hija de Ivo Ferreira (hermano del propietario del vertedero). Inicialmente, cuando llegó un equipo internacional para tratarla, la colocaron en una sala aislada del hospital, ya que el personal de la institución tenía miedo de estar cerca de ella. Poco a poco desarrolló edema en la parte superior del cuerpo, pérdida de cabello, daños en los riñones y los

pulmones, así como hemorragia interna. Ella murió el 23 de octubre de 1987 de sepsis e infección general en el Hospital Naval Marsiliu Díaz en Río de Janeiro, convirtiéndose en una víctima de la contaminación. Fue enterrada en un cementerio público en un ataúd especial hecho de fibra de vidrio, diseñado para evitar la propagación de la radiación. El día del funeral en el cementerio hubo disturbios donde más de mil personas protestaron contra el entierro en un cementerio público.

- Gabriela Maria Ferreira, 38 años, esposa del propietario del vertedero, Devara Ferreira, enfermó unos tres días después del primer contacto con la sustancia. Su condición empeoró y desarrolló una hemorragia interna, especialmente en las extremidades, los ojos y el tracto gastrointestinal, sufrió pérdida de cabello. Ella murió el 23 de octubre de 1987, aproximadamente un mes después del contacto.

- Israel Batista dos Santos, 22 años, fue un trabajador contratado en Devara Ferreira y el primero en manipular la fuente radioactiva para obtener el contenido. Desarrolló complicaciones respiratorias y pulmonares graves, finalmente fue enviado a un hospital y murió seis días después, el 27 de octubre de 1987.

- Edmilson Alvez de Souza, 18 años, también trabajaba en Devara y manipulo la fuente radioactiva. Desarrolló daño pulmonar, hemorragia interna y daño cardíaco, pero murió el 18 de octubre de 1987.

- Devar Alves Ferreira, cuya curiosidad condujo a la tragedia, recibió una dosis de radiación de 7 Gray, como resultado de lo cual su cabello se cayó por completo y varios órganos se vieron afectados. No fue condenado, pero se consideró el principal culpable, cayó en el alcoholismo, lo que debilitó aún más su cuerpo y murió de cáncer en 1994.

- Ivo Ferreira, padre de la niña fallecida Leida, también recibió una infección fuerte. Poco después, se convirtió en un gran fumador, como resultado de lo cual murió de enfisema pulmonar en 2003.

Varias docenas de personas después de los eventos fueron curadas. Al menos dos periodistas fueron considerados víctimas indirectas de la tragedia:

Accidente con consecuencias de alcance local - Nivel 4 de la escala INES

El nivel 4 también se subdivide en dos aspectos, personas y medio ambiente y barreras y controles radiológicos.

- Personas y medio ambiente

Un accidente nuclear de nivel 4 en la escala internacional de sucesos nucleares implica la liberación menor de materiales radioactivos, con escasa probabilidad de tener que aplicar las contramedidas previstas, salvo los controles locales de alimentos. Un accidente nuclear de este nivel implica al menos una defunción por radiación.

- Barreras y controles radiológicos

Fusión de combustible o daño al combustible nuclear, que provoca una liberación superior al 0,1% del inventario del núcleo. Liberación de cantidades

considerables de materiales radioactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de importante exposición del público.

Los accidentes nucleares clasificados en el nivel 4 más destacados hasta el momento son los siguientes:

- Sellafield (Reino Unido) - cinco incidentes desde 1955 hasta 1979.
- Central de energía experimental SL-1 (Estados Unidos) – 1961
- Central nuclear de Saint-Laurent (Francia) – 1969.
- Buenos Aires (Argentina) - 1983, accidente de criticidad en el reactor de investigación RA-2
- Jaslovské Bohunice (Checoslovaquia) - 1977.
- El accidente nuclear de Tokaimura (Japón) – 1999.
- Mayapuri (India) - 2010.

- *El accidente de Buenos Aires.*

El 23 de septiembre de 1983, mientras se reconfiguraba el núcleo del reactor de investigación de baja potencia RA-2 del Centro Atómico Constituyentes, hubo un problema como consecuencia del cual el operador recibió una dosis letal de 2000 rad de radiación gamma y 1700 rad de neutrones. Como parámetro comparativo, una radiografía de tórax normal implica exponerse a 0,05 rad. Murió a los dos días. Otras 17 personas recibieron dosis mucho menores de radiación.

El RA-2 había comenzado a operar en 1966 con el objetivo de estudiar y experimentar cómo debía configurarse el núcleo del reactor de investigación RA-3, ubicado en el Centro Atómico Ezeiza (CAE), que aún hoy continúa en servicio. A la tarde de ese día, se iba a realizar una modificación en el núcleo para realizar un experimento particular, para lo cual era necesario llevar a cabo una serie de procedimientos indicados en el protocolo de seguridad.

Pero el operador, un técnico con 14 años de experiencia (Osvaldo Rogulich), pasó por alto varios de los procedimientos. Así, por ejemplo, no removió por completo el líquido moderador antes de que se modificara la configuración del núcleo y dejó dentro del reactor dos combustibles que, también, deberían haber sido retirados por completo.

Como consecuencia, se liberó una cantidad importante de radiaciones ionizantes y neutrónicas en un lapso brevísimo de tiempo (entre 50 y 70 milisegundos). Alcanzó para que el técnico recibiera una dosis letal de radiación, aunque no representó un riesgo hacia fuera del establecimiento.

El gobierno de facto se ocupó de que la información no trascendiera (el evento fue mantenido en el más estricto secreto por los funcionarios militares que presidían la Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA, aunque países como Francia y los Estados Unidos fueron informados a las pocas horas de sucedido). El RA-2 se puso fuera de servicio ese mismo mes. En octubre de 1983, la Comisión Nacional de Energía Atómica le envió un escueto informe a la United States Nuclear Regulatory Commission (Comisión de Regulación Nuclear de Estados Unidos, que puede leerse completo en <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/gen-comm/info-notices/1983/in83066.html>). En mayo de 1984, se agregó un suplemento en el que está detallada la información (<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/gen-comm/info-notices/1983/in83066s1.html>).

Recién en 2005, luego de un acondicionamiento, se volvieron a utilizar los sectores del edificio expuestos a las radiaciones. Mas detalles al final de estas notas.

- *El accidente nuclear de Tokaimura, Japón.*

La instalación de tratamiento de combustible de uranio se encuentra, en Tokaimura (Japón) a 120km del nordeste de Tokio, en la Prefectura de Ibaraki. Actualmente es propiedad de propiedad de la compañía JCO.



El accidente nuclear de la instalación tuvo lugar el 30 de septiembre de 1999, en el edificio de conversión de la planta nuclear. La instalación consta de tres edificios auxiliares de conversión de uranio:

- Uno con una capacidad anual de 220 toneladas de uranio por año para bajo enriquecimiento (aproximadamente el 5%).
- Un segundo con una capacidad anual de 495 toneladas de uranio por año para bajo enriquecimiento (menor del 5%).
- El tercero, el que tuvo el accidente, con una capacidad anual ligeramente superior a 3 toneladas de uranio por año para alto enriquecimiento (no superior al 20%).

En este tercer edificio, se produce polvo de óxido de uranio concentrado a partir de la transformación de hexafluoruro de uranio. No solía funcionar continuamente. La instalación se utilizaba solo para encargos muy concretos de producción inmediata. Prácticamente solo estaba en funcionamiento 2 meses al año.

Para entender qué sucedió primero tenemos que explicar brevemente el proceso de enriquecimiento de uranio en la planta de Tokaimura. El proceso de enriquecimiento de uranio se realiza convirtiendo previamente el uranio en un compuesto, el hexafluoruro de uranio, que es gaseoso en condiciones normales. El siguiente paso, es la conversión del uranio enriquecido en forma de hexafluoruro de uranio en óxido de uranio, lo que se logra en un tanque con una disolución acuosa de nitrato de uranilo.

El compuesto se convierte por precipitación y sedimentación, y posteriormente por calcinación, en pastillas de combustible cerámico, que constituirán los elementos de combustible de algunos reactores nucleares. Según el procedimiento interno de operación establecido, la disolución de óxido de uranio (U_3O_8) debía estar en un tanque dispuesto para tal fin, transfiriéndose después a una solución de nitrato de uranilo puro y homogeneizándose con una purga del gas nitrógeno. Posteriormente, la mezcla se vertía al tanque de precipitación refrigerado por agua para evacuar el calor residual generado por la reacción exotérmica que se produce.

Para prevenir la aparición de una criticidad (una reacción de fisión en cadena auto-mantenida), el procedimiento establecía unos límites para la cantidad de uranio que debía ser transferida al tanque de precipitación, una cantidad máxima de 2,4 Kilogramos de uranio.

El procedimiento de trabajo fue modificado en noviembre de 1996, sin permiso de las autoridades reguladoras competentes, permitiendo el tratamiento de la disolución del óxido de uranio en baldes de acero inoxidable, que no cumplían las medidas adecuadas. Este nuevo método de trabajo había sido llevado a cabo varias veces antes de que ocurriera el accidente. Así, al preparar el combustible del reactor JOYO en septiembre de 1999, los trabajadores disolvieron el polvo de U_3O_8 en ácido nítrico en los baldes de acero inoxidable y vertieron la solución directamente en el tanque de precipitación. La solución empleada de 16 litros de óxido de uranio, enriquecida al 18,8% de ^{235}U , fue

repartida en cuatro baldes de acero inoxidable para verterla en el tanque de precipitación.

En la mañana del 30 de septiembre, cuando el volumen alcanzó los 40 litros, equivalentes a 16 Kilogramos de uranio, muy superior a la cantidad inicialmente establecida, se alcanzó la masa crítica necesaria para que se iniciara una reacción de fisión nuclear en cadena automantenida, acompañada de la emisión de neutrones y radiación gamma.

El trabajador, que agregó el séptimo cubo de nitrato de uranio al sumidero, vio un destello azul de radiación de Cherenkov. Él y otro trabajador que estaba cerca del sumidero inmediatamente experimentaron dolor, náuseas, dificultad para respirar y otros síntomas; Unos minutos más tarde, ya en la sala de descontaminación, vomitó y perdió el conocimiento.

No hubo explosión, pero el resultado de la reacción nuclear fue una radiación gamma y de neutrones intensa que activó la alarma, y luego comenzaron las acciones para localizar el accidente nuclear. En particular, 161 personas fueron evacuadas de 39 edificios residenciales en un radio de 350 metros de la empresa (se les permitió regresar a sus hogares después de dos días). 11 horas después del inicio del accidente nuclear, se registró un nivel de radiación gamma de 0,5 mSv/h en uno de los sitios fuera de la planta nuclear.

La reacción de fisión nuclear en cadena continuó de forma intermitente durante aproximadamente 20 horas, después de lo cual se detuvo debido al hecho de que se agregó agua a la camisa de refrigeración que rodea el tanque de sedimentación. El agua desempeñó el papel de un reflector de neutrones, y se agregó ácido bórico al sedimentador (el boro es un buen absorbente de neutrones). En esta operación participaron 27 trabajadores, que también recibieron una cierta dosis de radiación. Las rupturas en la reacción de energía nuclear en cadena fueron causadas por el hecho de que el líquido hirvió, la cantidad de agua se volvió insuficiente para alcanzar la criticidad y la reacción en cadena se atenuó. Después de enfriar y condensar el agua, se reanudó la reacción.

La radiación de neutrones cesó junto con la reacción en cadena, pero durante algún tiempo el nivel peligroso de radiación gamma residual de los productos de fisión permaneció en el sumidero. Por este motivo, fue necesario instalar una protección temporal de bolsas de arena y otros materiales. La mayoría de los productos de fisión volátiles permanecieron dentro del edificio debido al hecho de que mantuvieron una presión más baja que en el exterior y luego se recolectaron utilizando filtros de aire de alta eficiencia. Sin embargo, algunos de los gases nobles radioactivos y el ^{131}I entraron en la atmósfera.

- Consecuencias del accidente.

El accidente afectó directamente a los tres operarios que prepararon la muestra, que tuvieron que ser hospitalizados, dos de ellos en condiciones críticas, y que murieron uno a las 12 semanas y otro, transcurridos 7 meses. Se estima que uno de los trabajadores fallecidos estuvo expuesto a unos 1-20 Sv. Además, 56 trabajadores más de la planta se vieron expuestos a la radiación, de los cuales, al menos 21 personas recibieron dosis importantes y tuvieron que estar bajo evaluación médica. En un radio de 200 metros alrededor de la instalación, fue restringido el acceso, y de forma adicional, las autoridades japonesas establecieron medidas de evacuación de 161 personas, de las zonas situadas a una distancia de 350 metros de la planta. Como medida preventiva, las 310.000 personas que vivían a 10 km fueron avisadas para que no salieran de sus hogares, hasta que la situación estuviera bajo control, durando su confinamiento 18 horas.

Una vez que la criticidad finalizó, añadiendo ácido bórico a la solución del tanque de precipitación, y gracias a los sistemas de contención del emplazamiento, siempre en depresión con respecto al exterior, los niveles de radiación en los exteriores volvieron a la normalidad.

Según el IAEA los niveles de radiación de las áreas cercanas a la planta, a mediados del mes de octubre de 1999, habían recuperado los niveles de fondo natural. La medida de ^{131}I en suelos y en vegetación fuera de la instalación, determinó que los alimentos no se habían visto afectados.

El accidente se clasificó como nivel 4 según la Escala INES (“accidente sin riesgo significativo fuera del emplazamiento”), ya que las cantidades de radiación liberadas al exterior fueron muy pequeñas, y dentro de los límites establecidos, pero dentro del emplazamiento, los daños producidos en los equipos y barreras fueron significativos, además de la fatal exposición de los trabajadores.

A partir del accidente, al que todos los indicios apuntan como un fallo humano, las plantas de fabricación de combustible en Japón, fueron automatizadas completamente, para asegurar que un accidente de criticidad no volviera a producirse, equipando los sistemas con equipos de control neutrónico, y empleando métodos de conversión en seco, intrínsecamente más seguros.

Incidente importante - Nivel 3 de la escala INES.

Para este nivel, se aplican los aspectos humanos y ambientales, las barreras y los controles radiológicos y la defensa en profundidad.

- Personas y medio ambiente.

Exposición diez veces superior al límite anual establecido para la exposición de los trabajadores. Efecto no letal de la radiación en la salud (por ejemplo, quemaduras).

- Barreras y controles radiológicos.

Tasas de exposición superiores a 1 Sv/h en una zona de operación. Contaminación grave en una zona no prevista en el diseño, con escasa probabilidad de exposición importante del público.

- Defensa en profundidad.

Cuasi accidente en una central nucleoelectrónica sin disposiciones de seguridad pendientes de aplicación. Pérdida o robo de fuentes selladas de radioactividad alta. Entrega equivocada de fuentes selladas de radioactividad alta, sin que existan procedimientos adecuados para manipularlas.

- Accidente nuclear de Vandellós I, Cataluña.

La central nuclear de Vandellós I forma parte del complejo nuclear situado al lado de la población de L'Hospitalet de l'Infant en la provincia de Tarragona. El complejo lo forman las centrales nucleares de Vandellós I y Vandellós II. En la actualidad, sólo la central nuclear de Vandellós II sigue operativa.

El día 19 de octubre de 1989 se produce un accidente nuclear en la central de Vandellós I. Aquel día se inició un incendio en el generador eléctrico debido a un fallo mecánico. De forma indirecta, este incendio provocó una inundación de agua de mar en la zona del reactor nuclear que provocó la inoperatividad de algunos de los sistemas de seguridad.

El incidente de la central nuclear de Vandellós I, fue clasificado como nivel 3 (“incidente importante”) en la Escala INES, ya que no se produjo escape de productos radioactivos al exterior, ni fue dañado el núcleo del reactor y tampoco hubo contaminación dentro del emplazamiento. El daño que sufrieron los sistemas de seguridad provocó la degradación de la defensa en profundidad de la seguridad de la central.

Incidente - Nivel 2 de la escala INES.

- Personas y medio ambiente

Exposición de una persona del público por encima de 10 mSv. Exposición de un trabajador por encima de los límites anuales reglamentarios.

- Barreras y controles radiológicos

Niveles de radiación superiores a 50 mSv/h en una zona de operación. Contaminación importante dentro de una instalación en una zona no prevista en el diseño.

- Defensa en profundidad

Fallos importantes en las disposiciones de seguridad, aunque sin consecuencias reales. Hallazgo de una fuente sellada huérfana, de un dispositivo o de un embalaje para el transporte de radiactividad alta, con indicación de las disposiciones de seguridad, sin que haya habido menoscabo. Embalaje inadecuado de una fuente sellada de radiactividad alta.

Anomalía - Nivel 1 de la escala INES.

Este es un incidente nuclear pequeño o muy pequeño. En este nivel sólo el aspecto de defensa en profundidad. Se trata entonces de la exposición de uno o más ciudadanos a dosis de radiación por encima de los límites permitidos.

Una anomalía clasificada en el nivel 1 de la escala INES implica pequeños problemas con los sistemas de seguridad con suficientes sistemas redundantes a la izquierda.

- Defensa en profundidad.

Sobreexposición de una persona del público por encima de los límites anuales reglamentarios. Problemas menores en componentes de seguridad, con importantes medidas de defensa en profundidad pendientes de aplicación. Pérdida o robo de fuentes radioactivas, de dispositivos o de embalaje para el transporte de actividad baja.

IAEA - International Atomic Energy Agency
<http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/>

Osvaldo Rogulich, la trágica historia del hombre que protagonizó el único accidente nuclear de la Argentina.

<https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/osvaldo-rogulich-tragica-historia-del-hombre-protagonizo-nid2254564>

Cuando Osvaldo Rogulich recibió el resplandor azul que lo encegueció como un flash, supo que su suerte estaba echada.

El técnico electromecánico se convertía en el único protagonista de una "excursión de potencia" del reactor nuclear RA-2 del [Centro Atómico Constituyentes](#).

Duró menos de un segundo y no sintió ningún dolor, pero Rogulich había recibido una dosis radiactiva tan grande que lo convertiría en la primera víctima fatal en la historia del desarrollo nuclear argentino.

El evento en el RA-2 sucedió el viernes 23 de septiembre de 1983 pasadas las 16 y desde entonces figura en la bibliografía atómica mundial como el primer y único accidente nuclear de Sudamérica.

Aún cuando fue mantenido en el más estricto secreto por los funcionarios militares que presidían la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), países como Francia y los Estados Unidos fueron informados a las pocas horas de sucedido.

Eran los últimos días de la dictadura militar iniciada en 1976 y faltaba poco para las elecciones generales del 30 de octubre que restaurarían la democracia, con Raúl Alfonsín como presidente electo. Ni antes, ni durante, ni después del gobierno democrático, se informó a la población. Mucho menos a los vecinos que vivían en las cercanías del Centro Atómico.

En base a documentos internacionales, al testimonio de compañeros de trabajo y el de un familiar, **LA NACION** reconstruyó la historia de Osvaldo Rogulich, cuyo nombre hasta hoy figuraba en las sombras, y del "accidente de criticidad" que protagonizó en solitario. Un evento catalogado como de Grado 4 en la Escala Internacional de Accidentes Nucleares, lo que significa que la radiactividad liberada proveniente del uranio enriquecido no habría contaminado medio ambiente ni a la población civil que vivía a pocos metros del lugar.

Un poco antes de Chernobyl

Casi tres años antes del desastre de Chernobyl ocurrido al norte de Ucrania y a pesar de no haber trascendido nunca en los medios argentinos, los organismos internacionales fueron informados de una "excursión de potencia" en un reactor argentino.

Los informes secretos señalaban que había acontecido "un incremento accidental de reacciones nucleares en cadena de uranio enriquecido", dentro del RA-2, un reactor experimental de investigación construido en 1965 dentro del Centro Atómico Constituyentes, ubicado en Villa Maipú, partido bonaerense de San Martín; a muy pocos metros de la Ciudad de Buenos Aires y barrios de Villa Pueyrredón y Villa Martelli.

La radiación por neutrones que mató a Rogulich en poco más de 48 horas fue retratada brevemente por el periodista Milton R. Benjamin en las páginas del *Washington Post*, una semana después de ocurrida.

"En un milisegundo comenzó el tipo de reacción de fisión que ocurre al inicio de una explosión nuclear, pero solo generó la fuerza explosiva de aproximadamente 5 libras de TNT antes de detenerse", relató Benjamin el 1º de octubre de 1983.

"Si bien la Argentina no ha anunciado públicamente el accidente, la Agencia Internacional de Energía Atómica dijo ayer que había sido informada de que no se había emitido radiación desde la instalación. Sin embargo, las fuentes dijeron que el operador del reactor sufrió una dosis de radiación masiva en una escala de la experimentada por las víctimas en Hiroshima y que murió dos días después del accidente"

Un viernes como cualquier otro

Aquel viernes de septiembre transcurría de lo más tranquilo, tanto que el operador jefe del reactor le dijo a su ayudante que ya podía irse de franco, cerca de las 14 horas, porque no habría trabajo hasta al final de la jornada, cosa que este hizo enseguida.

Así fue como Rogulich se quedó solo esperando que se hicieran las 17 horas, momento en el que comenzaría su fin de semana, según relató a **LA NACION** un compañero de trabajo que ese día estaba presente en el Centro Atómico Constituyentes, trabajando en otro reactor, a unos 30 metros del accidente.

Sin embargo: "Le pidieron que haga una configuración de núcleo de último momento, pasadas las tres de la tarde, y como él tenía muchos años de experiencia, decidió hacerla solo".

"A las 16.10 del 23 de septiembre de 1983 se produjo un accidente de criticidad inmediata, cuando el operador intentó realizar cambios centrales sin drenar el agua del moderador", consignó la Comisión de Regulación Nuclear con sede en Washington, el 7 de octubre de aquel año.

"El operador fue reportado consciente durante el primer día después del incidente, y quedó inconsciente el segundo día. Se observaron síntomas agudos de enfermedad por radiación, incluyendo trastornos nerviosos", escribió Edward L. Jordan, director de la División de Preparación para Emergencias de esa comisión

Una cadena de errores

"Fue un error humano y un accidente muy pequeño, la instalación no tenía la potencia que represente un peligro en la población civil, solo podía serlo para un operador que comete una violación a las normas de seguridad. El error humano a veces tiene que ver con no seguir los procedimientos de seguridad, lo que se conoce en la industria nuclear como cultura de la seguridad", le dijo a este diario Alejandro Álvarez (hijo), profesor de Historia Económica y ex asesor de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación.

Una comisión especial reunida para investigar el episodio "identificó errores en la instalación y en los procedimientos, así como en la forma que se hizo la aprobación y supervisión del experimento. Debido a que el reactor había estado operando por muchos años sin incidentes se generó un excesivo grado de confianza en el desarrollo de las operaciones menores. Además, se dio prioridad a otras actividades urgentes del programa nuclear", detalló en la enciclopedia de ciencias ECyT el doctor en física Carlos Solivéz.

Rogulich recibió 2000 rad de radiación y de 1.700 rad de neutrones, una dosis ionizante letal, imposible de revertir. "En realidad hubo grave negligencia -escribió Solivéz- ya que ninguna de las personas que estaban en las instalaciones portaba dosímetro, y la radiación recibida debió ser estimada por métodos indirectos. A pesar de la gravedad de lo sucedido, la Memoria Anual 1984 (ya en democracia, durante la gestión del presidente Raúl Alfonsín) no informa nada sobre el resultado de las tareas antes citadas y la única mención al reactor es que se continuaban tareas de "actualización". El RA-2, sin dar las razones, fue desmantelado entre 1984 y 1989".

Francia ofrece un hospital

Un compañero de Rogulich -que entonces era jefe de turno del reactor RA-3- explicó que se trató de "pico de radiación de menos de un segundo en un movimiento mal hecho. Es como cuando tenés una manguera a presión y abrís y cerrás la canilla enseguida: sale un chorro de golpe, y después se frena".

"Francia ofreció brindarle tratamiento, porque tenía el único hospital modelo para accidentes radioactivos, donde podían hacerle un trasplante de médula, pero cuando vieron el nivel de radiación que había recibido, lo descartaron", recuerda este testigo que hoy trabaja en la CNEA.

- ¿Qué sintió al momento de recibir semejante dosis radiactiva?
- En el momento no sentís absolutamente nada, lo único que ves es un resplandor, como cuando te encienden frente a los ojos una linterna en plena oscuridad. A los veinte minutos y en función de la dosis radioactiva, comienzan los síntomas. Se acelera con el tiempo y no tenés forma de pararlo.

A los treinta minutos de la irradiación Rogulich experimentó dolor de cabeza, vómitos y diarrea. Entre las 2 y las 26 horas siguientes del accidente "se observó la fase de latencia, sin manifestaciones clínicas generales", describieron en un análisis del accidente los científicos Dorval, Lestani y Márquez del Instituto Balseiro en un paper del 2004.

"Yo lo vi esa noche en el Policlínico Bancario donde estaba internado y estaba perfectamente lúcido", rememora un operador jubilado que trabajaba junto con Rogulich, a quien define como la persona que le enseñó "absolutamente todo".

"Estaba en el Centro Atómico cuando sonaron las alarmas y tuve la misión de ir a comunicarle el hecho a su familia", se lamenta este testigo que también pidió reserva de su nombre.

Un hombre metódico

Rogulich era un hombre metódico, cuidadoso y de pocas palabras. Estaba casado y era padre de tres hijas, vivía en el barrio obrero San José, en Temperley, en la casa que él mismo construyó.

Le gustaba ver tenis, llevar a la familia al teatro, escuchar jazz y música clásica. Había ingresado a la CNEA como técnico electromecánico y, cuando alguna de sus hijas le preguntaba qué función cumplía en el reactor RA-2, él contestaba: "Yo doy vuelta una manija".

A las pocas horas del accidente radioactivo, el presidente de la CNEA, el doctor en física y vicealmirante Carlos Castro Madero, visitó a Rogulich en el Policlínico Bancario, poco antes de que este perdiera la conciencia. "Los obreros usan el martillo y a veces se dan un martillazo en un dedo", le dijo el marino al operador irradiado, a modo de consuelo.

"Las circunstancias lo llevaron a que cometiera ese error, se saltó una serie de pasos en el cambio de núcleo, que es una operación muy complicada. Los núcleos son las cajas combustibles donde está el uranio, son como un sánduche de uranio envuelto en aluminio y queda una placa, dentro de esa placa está el uranio enriquecido al 90 %, que era importado de los Estados Unidos", explica el compañero de Rogulich.

"Lo que sostiene el informe que se hizo después, es que durante muchos años en ese reactor no se respetaron los protocolos de seguridad, y mi papá hacía su trabajo con responsabilidad, pero en un contexto de cierta desidia", afirma Marcela Rogulich, artista y docente de educación plástica. Ella también trabajó en la CNEA y durante cinco años cargó con el estigma de ser la hija del hombre "que se había equivocado".

"Lo de mi papá me recuerda a lo que pasó con el ARA San Juan, cuando culpan por el hundimiento a los tripulantes, lo mismo dijeron de mi viejo. Reconozco que fue una falla humana, pero es como el error forzado del tenis, le mandaron la pelota más difícil".

El cuadro clínico se agrava

"Mi papá estuvo internado 48 horas en el Policlínico Bancario de Caballito donde lo atendieron muy bien; recuerdo que una enfermera tenía miedo de tocarlo porque pensaba que la podía contaminar, pero él estaba irradiado, no era radioactivo".

A partir de las 28 horas del hecho, Rogulich pasó de la fase de latencia a la aguda, y comenzó nuevamente con los vómitos. Durante las siguientes 6 horas experimentó ansiedad y exaltación, aunque seguía lúcido. Luego comenzó el Síndrome Neurológico, síntoma de las lesiones vasculares provocadas por la radioactividad. Tuvo convulsiones, sufrió tres paros cardíacos y finalmente murió, producto de la Enfermedad Aguda de la Radiación, exactamente a las 48 horas y 25 minutos del accidente nuclear en el RA-2.

Otros ocho empleados que se encontraban en las cercanías del reactor al momento del accidente se contaminaron con radiación pero en dosis mínimas que no les afectó la salud, de acuerdo con la dosimetría y los seguimientos posteriores.

¿Radioactividad en el aire?

"En un accidente como este, siempre la radiación sale hacia el exterior, pero no hay que confundir radiación con contaminación, que se da cuando inhalas o estás en contacto con partículas radioactivas", explica el compañero de Rogulich.

La comisión investigadora que hizo el informe estableció que el RA-2 no debía seguir funcionando. El reactor fue desmantelado al año siguiente y recién en 2007 trasladaron sus piezas a Estados Unidos.

Los restos de Osvaldo Rogulich descansan en el cementerio de Lomas de Zamora.

Por: Facundo Di Genova