

# El accidente nuclear de Fukushima

J. Rubén Morones Ibarra  
Posgrado, FCFM-UANL  
rmorones@fcfm.uanl.mx

## RESUMEN

*En este artículo se describe el accidente nuclear de Fukushima causado por el sismo y el tsunami del 11 de marzo de 2011, el cual es el segundo más grave de la historia de las plantas nucleares, después del accidente de Chernobyl. Con el sismo los sensores de la planta nuclear se activaron y los reactores se apagaron automáticamente. El tsunami inundó el cuarto donde se encontraban las plantas diesel de emergencia y no se contó con energía eléctrica para bombear el agua en sistema de refrigeración del reactor. Se produjo entonces el sobrecalentamiento que condujo al accidente nuclear.*



## PALABRAS CLAVE

Reactor nuclear, central nuclear, accidente nuclear, Fukushima.

## ABSTRACT

*This article describes the nuclear accident in Fukushima caused by the earthquake and the tsunami on March 11, 2011, which is the second biggest accident in the history of nuclear plants, after Chernobyl. The sensors on the nuclear plant were activated by the earthquake and the reactors were shut down automatically. The room of diesel generator was flooded by the tsunami and the refrigeration system of reactors did not operate because the lack of electrical energy. There was an overheating in the head of reactor which leads to the nuclear disaster.*

## KEYWORDS

Nuclear reactor, nuclear plant, nuclear accident, Fukushima.

## INTRODUCCIÓN

Hasta antes del 11 de marzo de 2011, Japón tenía en total 54 reactores nucleares en operación, de los cuales obtenía más del 30% de la electricidad total generada en el país. En la ciudad de Fukushima existen dos centrales nucleares, separadas una distancia de 11 kilómetros una de la otra. En la central nuclear denominada Fukushima I hay seis reactores nucleares con una capacidad de generación eléctrica total de 4.7 Giga Watts (GW). La otra central nuclear, denominada Fukushima II, la forman un conjunto de cuatro reactores con una potencia de 1.1 GW cada uno.

Fukushima I fue construida en 1971. Con sus 4.7 GW de potencia, esta central nuclear es una de la 25 más grandes del mundo. Sus seis reactores están denominados numéricamente del 1 al 6.



Central nuclear japonesa \*Fukushima I\* antes del tsunami.

La central nuclear de Fukushima II, construida en 1982, no fue dañada ni por el sismo ni el tsunami debido a que los reactores de esta planta se apagaron automáticamente al detectar los sensores el sismo y activando el sistema de refrigeración de emergencia, el cual funcionó sin problemas.

Durante el sismo de marzo de 2011 en Fukushima I estaban apagados, por razones de mantenimiento, los reactores 4, 5 y 6, pero aun cuando un reactor se encuentre apagado, continúa generándose calor debido a que los residuos nucleares, producto del combustible nuclear consumido, son altamente radiactivos y su actividad produce calor. Este calor se produce debido a que los productos de la desintegración radiactiva tienen energía cinética, la cual se pierde en los choques con el medio produciendo agitación térmica. El calor generado es mínimo comparado con la que se genera con el reactor en funcionamiento normal, sin embargo, este calor debe ser extraído del reactor para evitar un sobrecalentamiento, que puede fundir la cabeza del reactor ocasionando un grave accidente. Por tal motivo, aún apagado, un reactor necesita que el sistema de enfriamiento esté funcionando siempre. Cuatro de los reactores nucleares de la planta de Fukushima I fueron seriamente dañados.

## FISIÓN NUCLEAR

El fenómeno de la fisión nuclear fue descubierto por los químicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassman en 1939. La explicación fue dada el mismo año por los físicos Lissa Meitner y Otto Frisch,

demostrando que el fenómeno, que se observó en el isótopo de uranio-235, se debe a que, cuando el núcleo de este isótopo absorbe un neutrón, el núcleo se desestabiliza dividiéndose en dos partes (dos núcleos más pequeños) y liberando a su vez algunos neutrones y también una gran energía.<sup>1</sup>

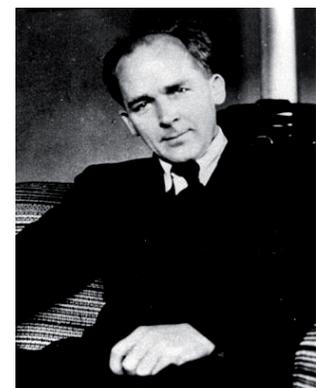
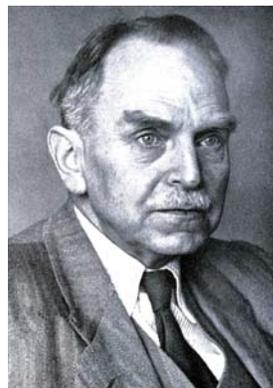
La energía liberada por la fisión nuclear fue utilizada por primera vez durante la segunda guerra mundial para fabricar bombas atómicas, las que en realidad deberían llamarse bombas nucleares.

Al terminar la segunda guerra mundial, se buscó la aplicación pacífica de la fisión nuclear, lo cual fue logrado con la construcción de un reactor nuclear en 1954 por la Unión Soviética. Fue así como por primera vez se puso en operación un reactor nuclear para generar electricidad. De ahí en adelante se disparó la construcción de reactores nucleares en el mundo. Actualmente hay 442 reactores en 29 países generando electricidad. También hay una gran cantidad de pequeños reactores impulsando barcos y submarinos nucleares.

## EL REACTOR NUCLEAR

Un reactor nuclear es esencialmente una caldera cuyo calor proviene de reacciones nucleares.<sup>1</sup> El vapor de agua generado se transmite por tuberías hacia una turbina acoplada a un generador eléctrico.

El corazón, también llamado núcleo o cabeza, de un reactor nuclear es el lugar donde se colocan las barras de combustible, que son de uranio enriquecido y es donde se genera el calor. El corazón del reactor contiene también unas barras de control, fabricadas



Otto Hahn y Fritz Strassman descubridores de la fisión nuclear.

de cadmio o boro para absorber neutrones, que se intercalan entre las barras de combustible y tienen la función de regular la potencia del reactor, así como de detener las reacciones nucleares y apagar el reactor. El núcleo del reactor se encierra en una cápsula metálica llamada vasija de presión del reactor y está hecha de una gruesa capa de acero.

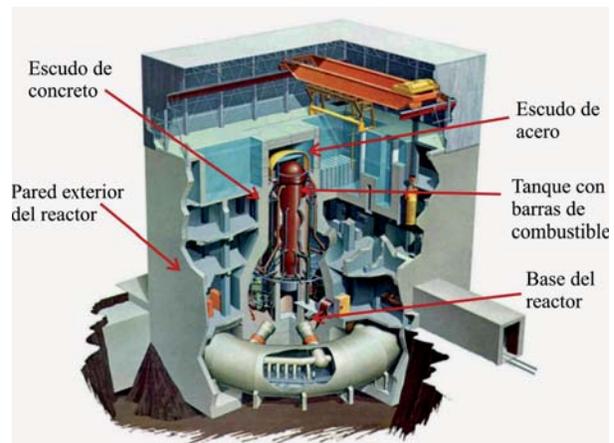
## SISTEMAS DE BLINDAJE EN UNA PLANTA NUCLEAR

Las medidas de seguridad asociadas con el blindaje de un reactor consisten de varias cámaras una dentro de otra. El objetivo de estas cámaras es el de evitar la fuga de radiación o de material radiactivo al medio ambiente. La cámara más interior es la vasija del reactor, la cual contiene las barras de combustible, las barras de control y moderadoras y en ella entra el agua que extrae el calor. La vasija es hermética y está formada por una placa de acero de cinco o más centímetros de espesor que evita que el combustible o la radiación salgan de ella.

Hay varios diseños de reactores, algunos tienen tres cámaras. En estos casos la segunda cámara puede ser también metálica o puede ser de concreto, en algunos casos es una estructura hermética cuyas paredes son de acero y concreto de cerca de dos metros de espesor. Encerrando a esta estructura se tiene al edificio del reactor, el cual no es hermético pero está construido de concreto con paredes de 60 o más centímetros de espesor. Con estas estructuras la posibilidad de que se fugue al exterior la radiación o material radiactivo, es mínima.

Los reactores de la central de Fukushima son del tipo de agua hirviente (Boiling Water Reactor, BWR). En este tipo de reactores el vapor de agua que se envía por tubería a la turbina, se produce en el mismo reactor. El corazón del reactor con las barras de combustible, también contiene las barras de control que son de cadmio o de boro. El corazón del reactor está encerrado en un recipiente de acero hecho de una placa de espesor de cinco centímetros. Este recipiente se conoce como vasija de presión del reactor (PRV, por sus siglas en inglés).

Encerrando al corazón del reactor y a una parte de la tubería que conduce el agua que saca el calor generado en las reacciones nucleares, está la vasija de contención (CV) la cual se construye también



Esquema general del sistema de blindaje del reactor nuclear.

con una placa de acero un poco más delgada que la de la PRV. Todo esto queda a su vez encerrado en el edificio del reactor.

## CENTRALES NUCLEARES

Una central nuclear es un complejo industrial de edificios e instalaciones donde operan una gran multitud de partes y componentes. En ella puede haber varios reactores. La vida media de un reactor se estima entre 30 y 35 años y la planta de Fukushima ya tenía 40 años en funcionamiento.

El número de trabajadores en una planta nuclear es usualmente muy grande. En la central nuclear de Fukushima trabajan más de 600 personas.

## SEGURIDAD EN LAS PLANTAS NUCLEARES

El público en general desconoce que los procedimientos de seguridad en las plantas nucleares son mucho más rigurosos que en cualquier otro tipo de industria, comparable sólo con la seguridad en la industria espacial. Por mucho, las medidas de seguridad en las plantas nucleares son más estrictas que en cualquier otra industria de generación de energía eléctrica.

Aún cuando en las industrias tradicionales pueden producirse accidentes graves que ponga en peligro la vida de las personas o causar un daño serio al medio ambiente, existe en ellas un bajo nivel de supervisión. En cambio, en la industria nuclear se tienen las más rigurosas medidas de seguridad y continuamente se le está sometiendo a supervisión.

## OPERACIÓN DE UN REACTOR NUCLEAR

En un reactor nuclear el proceso primario es el de la generación de calor. Esto se consigue mediante reacciones nucleares conocidas como de fisión nuclear. El proceso de fisión nuclear se inicia mediante la captura de neutrones por los núcleos de uranio los cuales al fisionarse producen más neutrones que a su vez generan reacciones de fisión. Este proceso autosostenido y regulado es la fuente de calor en los reactores nucleares. La manera de controlar la generación de calor en un reactor es mediante la regulación de la cantidad de neutrones presentes en el volumen donde se encuentran las barras de combustible.

Las reacciones nucleares se producen con una rapidez que depende del número de neutrones presentes. La función de las barras de control es la de regular esta cantidad de neutrones mediante la absorción de neutrones. Para lograr esto las barras de control se fabrican de un material que contenga núcleos atómicos que sean buenos absorbedores de neutrones. Entre estos encontramos el cadmio y el boro.<sup>2</sup>

Las barras de control son móviles y se colocan dentro de la cabeza del reactor, intercaladas entre las barras de combustible. Al introducirse entre las barras de combustible, disminuye el número de reacciones nucleares por unidad de tiempo. Si se quiere aumentar la potencia del reactor, es decir generar más calor por unidad de tiempo, se retiran las barras de control. Para apagar el reactor, se introducen éstas totalmente entre las barras de combustible.

Aun cuando las reacciones de fisión se hayan detenido por la introducción completa de las barras de control, la generación de calor en la cabeza del reactor continúa, aunque con mucha menor rapidez, debido que el combustible de uranio ya consumido contiene productos radiactivos que generan calor en los procesos de decaimiento radiactivo. Este calor debe extraerse de la cabeza del reactor y constituye un aspecto muy importante de las medidas de seguridad del reactor, ya que la suspensión de los procesos de fisión puede deberse a alguna amenaza de accidente o aun accidente propiamente. Es aquí donde el sistema de seguridad asociado al sistema de enfriamiento debe funcionar bien.

## ACCIDENTES EN UN REACTOR

El accidente más grave en un reactor se conoce como LOCA (Loss Of Coolant Accident) y ocurre cuando falla el sistema de enfriamiento (circulación del agua dentro del PRV).<sup>3</sup> Por falta de refrigerante se produce un sobrecalentamiento del reactor que ocasiona el derretimiento o fusión de la cabeza del reactor, lo que ocurre alrededor de los 2,800 °C.

Con el derretimiento de la cabeza del reactor la PRV también se fundirá y así mismo se fundirá la CV y el combustible nuclear escapará del CV lo cual es altamente peligroso para la salud por la intensa radiación que produce.

A temperaturas por encima de 1,000 °C el vapor de agua reacciona con el material de la cubierta de las cápsulas de combustible produciendo hidrógeno el cual, al combinarse con el oxígeno es altamente explosivo. Las explosiones que ocurren en las plantas nucleares cuando un reactor se sale de control y hay sobrecalentamiento son de hidrógeno.

Durante el funcionamiento normal del reactor, el sistema de refrigeración evita el calentamiento del núcleo del reactor y este opera en los intervalos de temperatura para los que está diseñado. La razón por la cual las plantas nucleares se construyen usualmente en las costas es para disponer de agua abundante para enfriar al reactor en caso de alguna anomalía.

Si las bombas de enfriamiento fallan, existe un mecanismo automático que dispara las barras de control hacia el interior de las barras de combustible apagando el reactor.

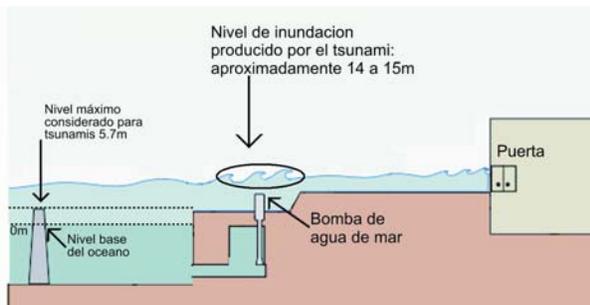


Sarcófago del reactor accidentado en Chernóbyl en 1986.

## SISMO Y TSUNAMI

El epicentro del sismo del 11 de marzo fue localizado en el océano pacífico, a cien kilómetros de la costa japonesa. Un sismo es un desplazamiento de las placas tectónicas de la corteza terrestre, lo cual ocasiona el terremoto que es el desplazamiento de las ondas sísmicas en la corteza terrestre. Un sismo con epicentro en el mar ocasiona un maremoto que es el movimiento de las ondas sísmicas en las aguas del océano, lo cual se manifiesta como grandes olas en la superficie marítima.

Existe una gran diferencia entre una ola normal de mar y la ola provocada por un terremoto. Mientras que las olas normales, generadas principalmente por el viento, son superficiales, las olas generadas por el terremoto están asociadas con el movimiento de todo un bloque de agua que va desde el fondo marino hasta la superficie. Además no es sólo una ola sino que pueden ser varias, que aparecen espaciadas en el tiempo en varios minutos. Este tipo de ola se conoce como tsunami.



El sistema de protección contra olas de la planta Fukushima fue superada por el tsunami.

## CRÓNICA DEL ACCIDENTE NUCLEAR EN FUKUSHIMA

A las 2:46 PM del día 11 de marzo de 2011 se registró un sismo de 9 grados en la escala Richter ocurrido en la Placa del Pacífico. El epicentro fue a 130 kilómetros de la península de Ojika, en Japón. El subsiguiente tsunami provocó olas de más de 10 metros de altura.<sup>4</sup> Este terremoto y el tsunami causaron serios daños en la planta nuclear de Fukushima, Japón.

Este ha sido uno de los sismos más intensos de que se tenga memoria. Al sismo le siguió un enorme tsunami que alcanzó una velocidad de propagación de 115 Km/hora,<sup>5</sup> causando una enorme destrucción.



Vista aérea de la zona donde se ubican los reactores dañados en la planta Fukushima I.

La planta nuclear estaba protegida con una pared contra olas de sólo 6 metros. Los reactores nucleares se apagaron automáticamente al ser detectado el sismo. Sin embargo, debido a que toda la red eléctrica externa sufrió daños no se pudo proporcionar energía eléctrica a las bombas de agua para enfriar los reactores.<sup>6</sup>

Por otra parte, el tsunami inundó el cuarto donde estaban los generadores eléctricos diesel, los cuales funcionan también como respaldo en caso de accidente, por lo que tampoco se contó con esta energía. Sin este suministro de energía el sistema de enfriamiento de los reactores no pudo funcionar y el accidente adquirió proporciones de catástrofe. Este fue el principal problema y la causa del accidente nuclear.

El último recurso de emergencia fueron las bombas accionadas por baterías, con las que se logró proporcionar electricidad al sistema de emergencia de enfriamiento, pero su reserva de energía es de solo 8 horas y fue entonces que sobrevino el desastre.<sup>7</sup>

Al cesar la circulación de agua de enfriamiento el reactor se sobrecalentó. La presión en la vasija de presión del reactor aumentó considerablemente



Ubicación de los reactores dentro de la planta.

y sin control, por lo que los ingenieros de la planta decidieron liberar vapor de agua para aliviar la presión. Este vapor, contaminado con material radiactivo, quedó dentro del edificio del reactor.

La primera explosión de hidrógeno ocurrió en el reactor número uno el 12 de marzo. Una explosión más fuerte ocurrió en el reactor 3 y otra de igual magnitud ocurrió en el reactor apagado número 4. Estas explosiones dañaron las paredes o los techos de los edificios que alojaban cada uno de los reactores.<sup>8</sup>

### UNA MEDIDA DESESPERADA

Para enfriar los reactores se recurrió al último recurso que se tiene en estos casos, que es el bombeo de agua de mar en los reactores. Esta medida se pospuso lo más que se pudo debido a que los reactores se dañan al quedar inundados en agua marina. La acumulación de sal en las barras de combustible, después de la evaporación del agua, daña estas barras y perjudica el funcionamiento del reactor. Al agua de mar se le añadió ácido bórico ya que el boro, como ya se mencionó, es un buen absorbedor de neutrones, lo cual evita que se produzcan reacciones nucleares de fisión que son exotérmicas.

Hubo una fuga de agua contaminada con material radiactivo en el reactor número 1. Las filtraciones a través de las grietas provocadas por el sismo en el piso del reactor causaron esta fuga de agua la cual se derramó en el océano pacífico contaminando sus aguas.

Además, el agua utilizada para el enfriamiento del reactor fue vertida directamente en el mar aumentando los niveles de radiactividad. En muestras tomadas del

agua marina en los días siguientes al accidente, se llegó a comprobar que tanto el agua como los peces de la costa de Fukushima presentaban un incremento significativo de radiactividad.

El 25 de marzo un barco de la marina de EUA llegó a las costas de Fukushima con agua dulce disponible para enfriar los reactores. Los camiones de bomberos se encargaron de arrojar el agua sobre los reactores 1, 2 3 y 4, lanzando también grandes cantidades de nitrógeno gaseoso.

Al inyectar agua limpia en el RPV mediante el bombeo, se corre el riesgo de explosiones de hidrógeno debidas a la condensación de vapor de agua en el PCV durante el enfriamiento lo cual conduce a aumentar la concentración de hidrógeno. El remedio para esto es inyectar gas nitrógeno dentro del PCV para diluir la concentración de hidrógeno.

Para el 29 de marzo ya se disponía de energía eléctrica para operar las bombas de agua de algunos de los sistemas de enfriamiento que no sufrieron daño, esto estabilizó la situación un poco. Se había regularizado el servicio de agua potable en la red y se disponía de ella para enfriar los reactores.

El 17 y 18 de abril se introdujo al edificio del reactor un robot autónomo para inspeccionar los niveles de radiación, encontrando que estos eran muy elevados y no era conveniente que los obreros de la planta entraran en él. Los trabajadores de la central buscaban entrar al edificio para reparar el sistema de refrigeración y así tener un control sobre los reactores.

En los primeros días de mayo de 2011 varios trabajadores fuertemente protegidos, con trajes



Vista aérea de la central nuclear Fukushima I poco tiempo después del tsunami.

especiales para protegerse de la radiación, tanques de oxígeno y máscaras entraron al edificio del reactor número uno. Realizaron trabajos de conexión de ductos e instalación de ventiladores para filtrar el aire y retirar el material radiactivo.

Tras varios días de funcionar el filtrado del aire se logró bajar los niveles de radiactividad en el interior y los trabajadores, protegidos con trajes especiales, pudieron entrar al edificio para reparar el sistema de enfriamiento del reactor.

Después de 80 días del accidente, el 30 de mayo, se había logrado estabilizar los reactores. El proceso de monitoreo que medía los niveles de contaminación de agua, aire, suelo y alimentos en la zona detectó niveles aceptables que no ponen en peligro la vida de las personas. Para esa fecha, la contaminación en el agua de la costa marina había sido reducida notablemente.

## RECuento DE LOS DAÑOS

Para enero de 2012 la situación estaba bajo control en todos los reactores (referencia: World Nuclear Association).

Hasta mayo de 2012 ninguna muerte fue atribuida al accidente nuclear causado por radiactividad. Tampoco se han detectado efectos en la salud de los trabajadores que estuvieron expuestos a la radiación. Los daños más severos fueron sobre las costas y el suelo lo cual ha afectado la pesca, la agricultura y la ganadería.

El informe de la International Commission for Radiation Protection (ICRP) indicó que los niveles de radiación a la que estuvo expuesta la población de Fukushima se mantuvo siempre por debajo de los valores considerados peligrosos para la salud. Se estableció que el escape de material radiactivo fue equivalente al 20% del que se produjo en el accidente de Chernobyl.

Según los informes de las autoridades japonesas, la compañía operadora de la planta Tokio Electric Power Company (TEPCO) tardó en decidir si enfriaba el reactor arrojando sobre él agua de mar, ya que la operación dejaría inservible el reactor, lo que TEPCO trataba de evitar. La tardía reacción de arrojar agua de mar sobre el reactor se tomó 28 horas después de que el sistema de refrigeración dejó de funcionar. Esto llevó finalmente a la fusión parcial de



Trabajadores durante las actividades de estabilización de la planta nuclear.

la cabeza del reactor. Si se hubiera enfriado el reactor desde el principio con agua de mar, el problema de la fusión del núcleo se hubiera evitado.

## CONSECUENCIAS DEL ACCIDENTE NUCLEAR DE FUKUSHIMA

El primer ministro de Japón Naoto Kan renunció en septiembre de 2011 después de recibir críticas muy fuertes por su falta de capacidad para manejar la crisis del accidente de Fukushima. Su postura, por supuesto, fue de que nadie espera que él sea experto en asuntos nucleares y sólo tomó decisiones en base a la información que sus funcionarios, asesorados por expertos nucleares le proporcionaron.

Japón se vio obligado a reducir su consumo de energía eléctrica en un 15% y sufrir el calor del verano. La temperatura de los aires acondicionados se colocó 2 °C por encima de lo usual y ahora se fija en 28 °C.

El pasado mes de mayo de 2012, se suspendió el funcionamiento del último reactor activo de los 54 que están instalados en Japón. Por primera vez desde que se inició en 1971 el programa de centrales nucleoelectricas de Japón, el país dejará de generar electricidad por este medio. No se espera que en el transcurso de unos pocos años se reactive el funcionamiento de las centrales nucleares en Japón.

Aun cuando los reactores de una central nuclear del centro de Japón han pasado las pruebas más rigurosas de seguridad, y el gobierno busca



El ex-primero ministro de Japón, Naoto Kan, quien dimitió presionado por el accidente de la planta nuclear de Fukushima, y su sucesor Yasuhiro Noda.

convencer a las administraciones locales de que es necesario reactivar las plantas nucleares, se han encontrado con el rechazo de la población y la misma administración.

Todos los reactores nucleares de Japón han sido apagados para someterlos a mantenimiento y revisión estricta de las medidas de seguridad. Mientras tanto, la población exige que para que funcionen las centrales nucleares en Japón, se adopten medidas de seguridad que superen las pruebas de resistencia de una catástrofe como las del sismo y el tsunami que ya padecieron.

La energía eléctrica que antes se producía en las plantas nucleares ahora se obtiene de plantas termoeléctricas con las consecuentes emisiones de CO<sub>2</sub>.

En el año 2010 Japón planeó la construcción de 14 reactores nucleares más para así elevar a 50% la generación de energía eléctrica total del país proveniente de plantas nucleares.<sup>6</sup> Este proyecto fue desechado después del accidente de Fukushima.

El 9 de junio de 2012 la prensa internacional dio a conocer la noticia de que el Primer Ministro de Japón, Yasuhiro Noda, avisa a su país que es necesario reactivar algunos reactores nucleares para proteger la economía y el sustento de la nación. Sin embargo, la población ha manifestado su rechazo a tal medida.

## EVALUACIÓN DE UN ACCIDENTE NUCLEAR

El INES (International Nuclear Event Scale) es un instrumento de medida que permite informar a la población cuál es el grado de peligrosidad de un incidente o accidente nuclear. Esta escala puede



Vista de los daños a las estructuras de los edificios de los reactores nucleares de Fukushima.

ser aplicada a cualquier evento relacionado con el uso de material radiactivo, ya sea su transportación, almacenaje o del uso de isótopos radiactivos.

El INES es una escala numérica en el intervalo de 1 a 7 que nos indica la gravedad del evento o accidente nuclear. Los eventos nucleares del 1-3 son clasificados como incidentes, lo que significa que no se pone en peligro ni a las personas ni al medio ambiente.

Un accidente de categoría 4 tiene consecuencias locales y en uno de nivel 5 los efectos se extienden a un área mayor. Uno de categoría 6 es aquel que impacta a las personas y al medio ambiente en un radio de alrededor de 40 kilómetros.

En un accidente de categoría 7 se tienen fugas importantes de material radiactivo que afectan a las personas y al medio ambiente en una extensión que abarca más de cien kilómetros de radio. En este último caso se requiere la aplicación de un plan



Otra vista que muestra la gravedad del accidente.

de emergencia en el que se realiza la evacuación de todas las personas en un área de un radio de 40 kilómetros alrededor de la planta nuclear donde se produjo el accidente. Solo pueden permanecer en la zona los trabajadores de la planta encargados de controlar la situación. Después se requerirá un programa para limpiar el área de material radiactivo y posiblemente sepultar el reactor nuclear lanzándole costales de arena y placas de concreto para sellar el lugar y evitar fuga de radiación.

El principal propósito del INES es facilitar la comunicación entre el personal técnico con las autoridades, los medios de comunicación y la población. El accidente de Fukushima fue clasificado en la categoría 7.

### LECCIONES DEL ACCIDENTE NUCLEAR

Las lecciones que se derivan de este accidente son las siguientes:

1. Se debe disponer de un número mayor de generadores eléctricos para afrontar el problema de un terremoto y un tsunami.
2. Las plantas eléctricas deben estar bien protegidas para que funcionen y puedan alimentar el sistema de enfriamiento de los reactores en los casos de emergencia.
3. El primer reactor nuclear de la planta de Fukushima inició su operación el 26 de marzo de 1971. Su antigüedad al momento del accidente era de 40 años. El tiempo de vida de un reactor se estima entre 30 y 35 años, por lo que los reactores de Fukushima ya deberían de haberse modernizado o reemplazado por reactores con una tecnología más moderna.<sup>9</sup>

### EL FUTURO DE LA ENERGÍA NUCLEAR

La energía que mueve al mundo es la electricidad. El problema actual es cómo obtener la energía primaria para producir la electricidad que consumimos.

Los acontecimientos ocurridos en la planta nuclear de Fukushima, Japón, posteriores al sismo y al tsunami de marzo de 2011, han llevado a las compañías constructoras de centrales nucleares a replantear las medidas de seguridad en los reactores nucleares introduciendo una nueva normativa.



Trabajadores durante el proceso de limpieza y estabilización de la planta.

Es importante entender que todas las actividades industriales conllevan riesgos y por lo tanto tienen que establecerse normas de seguridad para el funcionamiento de las industrias. Los riesgos siempre existirán y no por eso se dejará de buscar el progreso mediante el desarrollo industrial.

Cuando se tenga que racionalizar la electricidad y se tengan apagones frecuentes, entonces se clamará por cualquier tipo de fuente de energía que resuelva el problema. Como regla general la evaluación de cualquier tecnología se hace en términos de los riesgos y los beneficios, esto significa que los riesgos son aceptados en base a los beneficios recibidos.

Las plantas nucleares tienen más de 50 años funcionando en el mundo, probando que ésta fuente de energía es limpia y segura, y que durante su funcionamiento normal no contamina el medio ambiente. Por otra parte, las fuentes de energía que provienen de los combustibles fósiles producen daños a la salud y al medio ambiente.

No parece que vaya a ocurrir un desplome en la industria de la energía nuclear pues actualmente hay más de 50 reactores nucleares en construcción en el mundo. En EUA está aprobada la construcción de dos reactores en Carolina del Sur y otros dos en Georgia, de acuerdo con la información del Nuclear Energy Institute.

## COMENTARIOS FINALES

Ninguna industria o planta es 100% segura. Los desastres naturales siempre existirán y debemos entender que para algunos de ellos no existe ninguna protección. Por ejemplo, para un aerolito de grandes dimensiones que choque con cualquier estructura construida por el hombre, no se puede, en principio, tener ningún resguardo.

Sin embargo, aun cuando los desastres naturales no se pueden evitar, un accidente en una planta nuclear puede impedirse o minimizarse si se toman las medidas de seguridad adecuadas. Después de Fukushima, las normas de seguridad para centrales nucleares deberán incluir la posibilidad de desastres combinados.

Para construir una planta nuclear, se deberán tomar en cuenta los registros históricos de la región y evaluar las máximas catástrofes que puedan ocurrir, para así diseñar la planta considerando la posibilidad de una combinación de estas catástrofes. Además, deberán estarse modernizando las plantas para ir incorporando las nuevas tecnologías.

## REFERENCIAS

1. F. Yang, and J. H. Hamilton, Modern Atomic and Nuclear Physics, McGraw-Hill, 1996.
2. A. Daas, and T. Ferbel, Introduction to Nuclear and Particle Physics, Second Edition, World Scientific, 2006.
3. B. L. Cohen, La Energía Nuclear, Siglo XXI, 1993.
4. Takashi, Mariko and Katsuda Toshihiro, Fukushima Nuclear Power Plant Disaster, The Asahi Shimbun Company, 2011.
5. Fukushima 3/11, Yujiro Taniyama and Scott Ritzgerald. 2011.
6. Japan's Tipping point, Mark Pendergrast, Nature's Face Publications, 2011.
7. Complete guide to the three worst nuclear accidents: Fukushima, TMI and Chernobyl, U.S. Government, Nuclear Regulatory Commission. 2011.
8. Japan. Hell on Earth: 2011, Paul Andrews, Andrews UK, 2011.
9. Hirose, Takashi, Fukushima Meltdown, Edit. Douglas Lummis, 2011.

Sociedad Mexicana de Materiales A.C.

MRS Materials Research Society  
The Materials Gateway

XXI  
INTERNATIONAL  
MATERIALS  
RESEARCH  
CONGRESS  
IMRC 2012

12 - 17  
August  
2012  
CANCUN  
MEXICO

Hotels  
JW Marriott  
Casa Magna Marriott

<http://www.mrs-mexico.org.mx>