

## Centrales nucleares y energía

Todos los fenómenos nucleares involucran un intercambio y/o liberación de energía. Las centrales nucleares reúnen las tecnologías que permiten utilizar la enorme energía almacenada en los núcleos atómicos para usarla a gran escala. Usualmente es llamada *energía atómica*, pero también se la denomina *energía nuclear*, que hace referencia más precisa a su origen físico.

En el 2009 el 13% de la energía eléctrica en el mundo fue generada en centrales nucleares.

Frecuentemente la expresión *central nuclear* tiene una connotación negativa. Muestra de ello es que el inspector de seguridad nuclear más famoso es el personaje Homero Simpson. La generación de energía a partir de centrales nucleares suele asociarse a la posibilidad de accidentes importantes, con grandes daños ambientales y a la salud. Por otra parte, es necesario un gran esfuerzo para administrar en forma segura los residuos que se generan.

A pesar de este contexto, gran cantidad de países han optado por la energía nuclear para llegar al nivel de consumo energético que necesitan, el cual les permite tanto el desarrollo económico como el acceso a modalidades de consumo que están muy difundidas.

País	Cantidad de reactores nucleares	Porcentaje de generación de energía eléctrica
Estados Unidos	104	29%
Francia	58	75%
Japón	54	29%
India	20	2%
Argentina	2	7%
Brasil	2	3%

29 países disponen de centrales nucleares para generación de energía. Actualmente operan 442 y hay 65 más en construcción.

## Centrales nucleares y energía

Aun aquellos países que no disponen de centrales nucleoelectricas hacen un uso indirecto de esta energía, al proveerse de los países vecinos que tienen excedente a partir del uso de centrales nucleares. Es el caso de Uruguay, que frecuentemente compra energía a Argentina y Brasil.

En nuestro país se ha comenzado a debatir acerca de la conveniencia de esta opción energética y hay consenso en que a corto plazo y por algunas décadas no será técnicamente posible ni conveniente. El debate ha permitido que la ciudadanía se informe, medite y se plantee la resolución de las cuestiones ya presentes en nuestra vida con relación a las tecnologías nucleares. Por ejemplo, ¿qué destino se les da actualmente y se les daría a los desechos nucleares en el Uruguay?, ¿es razonable renunciar en nombre de una consigna (“NO NUCLEAR”) a los enormes beneficios de estas tecnologías para la medicina y otras aplicaciones?

Por otra parte, no todos los reactores nucleares se destinan a la producción de electricidad. Existen reactores de poca capacidad de generación de energía cuya finalidad principal es la investigación en diversas áreas científicas y tecnológicas y la producción de radioisótopos, los cuales se emplean en medicina con grandes beneficios. La investigación llevada a cabo en pequeños reactores ha permitido desarrollar tecnologías de gran aplicación en nuevos materiales, biología, medicina y medio ambiente, entre otros.



Enrico Fermi (1901-1954) Premio Nobel de Física 1938

El primer reactor nuclear fue desarrollado en el Proyecto Manhattan durante la segunda guerra mundial, como parte de la carrera armamentista que permitió a Estados Unidos disponer de armas nucleares antes que Alemania y sus aliados. El físico italoamericano Enrico Fermi fue quien descubrió nuevos elementos radioactivos obtenidos a partir del bombardeo de núcleos pesados con neutrones;

fue asimismo el creador de este reactor que usaba uranio natural como combustible.

¿Cómo funciona un reactor nuclear? La producción de energía eléctrica en una central nuclear es muy similar a la producción de electricidad en una central térmica de carbón o de gas. Ambas se basan en obtener energía a partir de un combustible que genera calor, el cual es utilizado para producir vapor de agua, que a su vez se encargará de mover las turbinas generadoras de la electricidad.

La principal diferencia radica en el tipo de combustible a partir del cual se obtiene el calor, que en el caso de una central nuclear son materiales con núcleos fisionables, mientras que en una central convencional son combustibles fósiles. Esto implica el uso de complejas tecnologías relacionadas con los fenómenos nucleares y prácticas cuidadosas de seguridad y para la protección del personal, la población y el medio ambiente.

En las centrales nucleares el combustible que se utiliza es en general óxido de uranio, con uranio natural a veces enriquecido con uranio 235 hasta el 5%. El enriquecimiento de uranio natural es un proceso que implica el uso de tecnologías muy avanzadas (¡y secretas!), de difícil acceso para la mayoría de los países. Otra posibilidad de combustible nuclear es el plutonio 239. Estos combustibles tienen la propiedad de contener núcleos que fisionan en condiciones adecuadas.

El uranio que se encuentra en la naturaleza consta de 140 núcleos de uranio 238 por cada núcleo de uranio 235.

El uranio es uno de los principales combustibles que se utilizan en las centrales nucleares, y frecuentemente es uranio enriquecido.

¿Qué es el uranio enriquecido? Es el que se obtiene luego de someter el uranio natural a diferentes procesos físicos y químicos para aumentar el porcentaje de uranio 235.

# Centrales nucleares y energía



¿Qué significa la fisión nuclear? Es la división de un núcleo en núcleos más pequeños, sea espontáneamente, debido a que son inestables, o inducida por el bombardeo con partículas. Por ejemplo, si los núcleos de uranio 235 son bombardeados con neutrones de poca velocidad, se dividen generando nuevos neutrones y núcleos radioactivos.



## Centrales nucleares y energía

Estos nuevos neutrones pueden a su vez provocar nuevas fisiones de uranio 235 y así iniciar una *reacción en cadena*. Manteniendo constante el ritmo de la reacción en cadena es posible obtener una liberación controlada de la enorme energía almacenada en los núcleos radioactivos.

Los reactores se diseñan de forma que, de los dos o tres neutrones producidos en cada fisión, en promedio solamente uno logre provocar un nuevo proceso de fisión. De esta forma se logra mantener un ritmo de generación de energía constante.

Los neutrones provenientes de los núcleos fisionables son enlentecidos por materiales específicos llamados *moderadores*, para permitir que estos provoquen nuevas fisiones de uranio 235. Por ejemplo, en el primer reactor el moderador era de grafito (una forma del carbón), así como en el reactor de Chernobyl. Otro moderador utilizado es simplemente agua, como es el caso de los más de cien reactores de Estados Unidos, o agua pesada, como en los de origen canadiense.

Por otra parte, el reactor contiene *barras de control* construidas con materiales como boro o cadmio, cuya finalidad es la absorción de neutrones. Estas barras se introducen o se quitan del reactor con el propósito de regular el ritmo de la reacción en cadena y constituyen un importante elemento de seguridad.

Finalmente, los productos de fisión, que tienen grandes velocidades y por lo tanto generan altas temperaturas, transmiten por contacto su energía a un circuito cerrado de agua u otro fluido, llamado *circuito primario*, provocando su calentamiento. Este circuito de agua finalmente transfiere su calor a otro circuito cerrado e independiente, llamado *circuito secundario*, lo que genera vapor en él. El vapor mueve las turbinas como en cualquier

El uranio 238 absorbe neutrones lentos sin fisionarse, generando otros elementos radioactivos, como el plutonio 239. En cambio, el uranio 235 se fisiona cuando absorbe neutrones lentos.

Los neutrones lentos, capaces de provocar la fisión del uranio 235, son llamados *neutrones térmicos*.

## Centrales nucleares y energía

central convencional, de igual forma que el agua del río Uruguay mueve las turbinas de la central de Salto Grande. Luego de pasar por las turbinas, este vapor es enfriado con agua que se toma de un arroyo, embalse o río cercano a la central.

En las enormes torres que son características de las centrales nucleares se realiza el enfriamiento del vapor del circuito secundario. El calor extraído al vapor del circuito secundario produce las columnas de vapor que se ven en estas torres de enfriamiento. Es importante destacar que ninguno de los circuitos mencionados mezcla sus fluidos durante el funcionamiento de la central, y en el funcionamiento normal no se emiten vapores radioactivos a la atmósfera.



Torres de enfriamiento

¿Qué ocurre con el combustible luego de la fisión? Al cabo de un año aproximadamente el reactor ha usado buena parte del uranio 238 que ha generado plutonio 239, de vida media muy larga, además de otros elementos radioactivos originados en la fisión del uranio 235 o del plutonio 239. La larga vida media de los fragmentos de fisión (*transuránidos*) es uno de los principales problemas para la disposición final de los desechos radioactivos de los reactores nucleares.

El plutonio 239 también puede ser utilizado como combustible en reactores o en armas nucleares. La extracción del plutonio 239 es una tarea complicada y recibe el nombre de *reprocesamiento*. Algunos países reprocessan el combustible nuclear, lo que constituye un indicio de que construyen armas nucleares basadas en plutonio, pese a que para ello se requiere tecnología extremadamente avanzada.

### Seguridad nuclear y accidentes

Las actividades humanas pueden implicar un riesgo para el medio ambiente y para la seguridad. Estas son finalmente aceptadas o rechazadas por la sociedad de acuerdo a los beneficios y a los riesgos que conllevan.

Eventualmente, los accidentes en centrales nucleares pueden generar pérdida de vidas humanas, afectar la vida de poblaciones importantes que deben trasladar sus viviendas, y producir daños en el medio ambiente. De acuerdo a su gravedad podrán implicar un legado hacia las futuras generaciones que los hace singulares. Accidentes de grandes consecuencias han ocurrido hasta el momento en pocas oportunidades. El más grave ha sido el de Chernobyl en 1987.

Un reactor fuera de control puede generar diversas situaciones relacionadas con el combustible, los circuitos de intercambio de calor o los materiales con los que está construido. Si se alcanzan altas temperaturas que provoquen la rotura del contenedor metálico y/o del edificio que lo contiene, se puede llegar a liberar elementos radioactivos hacia el exterior.

Los reactores nucleares se construyen con múltiples mecanismos de seguridad y funcionan de acuerdo a procedimientos claramente asentados, de forma de evitar errores e improvisaciones. Esto supone un gran entrenamiento del personal que trabaja en ellos. En los cerca de cien accidentes ocurridos en centrales nucleares desde 1945, frecuentemente las fallas humanas han desempeñado un papel central, ya que se aplicaron incorrectamente los protocolos establecidos. En un número relativamente menor de ellos ha habido fatalidades.

El reactor propiamente dicho es la única estructura que contiene y está

¿Por qué un reactor no puede explotar como una bomba atómica si ambos se basan en el mismo proceso físico? Los reactores se diseñan de forma que, cuando aumenta inesperadamente la generación de energía, el número de neutrones lentos disminuye y la reacción en cadena se detiene.

en contacto con elementos radioactivos. En él se encuentran los elementos combustibles formados por uranio, blindados en pequeños cilindros de materiales cerámicos colocados en vainas metálicas. El reactor está recubierto por una estructura de gruesas paredes de metal que constituye una barrera de seguridad. En general está rodeado de otra fuerte estructura edilicia que lo aísla del exterior y previene que en cualquier incidente se emitan gases o residuos del combustible a la atmósfera. Por otra parte, la tecnología del reactor ha sido planeada para impedir cualquier desviación de su funcionamiento normal. Mecanismos electrónicos, mecánicos y los procesos físicos que se desarrollan en el reactor están diseñados para este fin.

Además, existe un estricto programa de garantía de calidad, con un conjunto de prácticas y de procedimientos sistemáticos y documentados, basados en normas nacionales e internacionales, que agrega confiabilidad a todos los elementos de seguridad. Estos programas se aplican en todas las fases de un proyecto nuclear: el diseño, la construcción, la puesta en marcha, la operación regular y finalmente la clausura de las instalaciones. Paralelamente, las autoridades nacionales de radioprotección de cada país realizan inspecciones periódicas a las instalaciones para verificar el funcionamiento y la fiabilidad de todos los elementos anteriores. Este seguimiento también se realiza con los desechos nucleares que produce el reactor.



### Chernobyl



Central de Chernobyl después del accidente

En este lugar de Ucrania, en la Unión Soviética, el 26 de abril de 1986 ocurrió un grave accidente nuclear. Durante un experimento para verificar la seguridad en uno de los reactores, la reacción en cadena se salió de control debido tanto a fallas humanas como de diseño. El recalentamiento del reactor provocó la rotura de circuitos de refrigeración de agua y finalmente el carbón —elemento usado como moderador— se incendió y liberó cerca del 30% de la radioactividad del reactor en forma de humo radioactivo a la atmósfera. Por otra parte, la planta de Chernobyl no tenía un edificio contenedor que pudiera evitar el escape. Diversas fallas del personal anulaban mecanismos de seguridad y protocolos. Sin estos hechos probablemente se habría evitado el accidente.

¿Cuáles fueron las consecuencias? Algunos cientos de personas sufrieron síndrome agudo por radiación, de las cuales cerca de 30 fallecieron en los primeros tres meses. Estas personas eran principalmente personal de la planta y bomberos que acudieron al lugar de la explosión. La mayoría de los decesos asociados a este accidente no ocurrieron inmediatamente sino que fueron provocados por los efectos de bajas dosis de radiación presentes en las primeras semanas luego del accidente.

La radiación liberada decayó a un 1/4 de su valor inicial luego de 15 minutos, a 1/15 luego de un día, y a menos del 1/100 luego de tres meses. La contaminación generada en la atmósfera se dispersó en grandes regiones, aun cuando los efectos importantes han ocurrido principalmente en algunos países de Europa. De las 30.000 personas que residían en los alrededores de la planta, el exceso de muertes por causa de cáncer debido al accidente se calcula en 500 personas

Debido a la necesidad de energía eléctrica, luego del accidente Ucrania continuó operando los reactores de Chernobyl por varios años. El último reactor fue cerrado en el 2000, 14 años luego del accidente.

## Centrales nucleares y energía

por encima de los 6.000 fallecimientos por cáncer que ocurren estadísticamente en esa población. Las Naciones Unidas han estimado que el total de excesos de muerte por cáncer a largo plazo debido a la radiación liberada es de 4.000 a 10.000. Las víctimas corresponden a varios países cercanos. La mayor parte de las muertes estimadas provienen de regiones que han recibido dosis residuales pequeñas, cuyos efectos, utilizando la hipótesis lineal, dan como resultado las cifras mencionadas.

La radioactividad liberada en el accidente fue 400 veces mayor que la liberada en Hiroshima y de 100 a 1000 veces menor que la liberada en los ensayos nucleares de los años cincuenta y sesenta.

Es muy difícil identificar en cada caso si un fallecimiento por cáncer se debió o no al accidente de Chernobyl. Esta identificación únicamente es posible en los tipos de cáncer que ocurren con muy baja frecuencia y que presentan un aumento significativo —por ejemplo, los casos de cáncer de tiroides verificados en las zonas vecinas al accidente—. El hecho de que un accidente como este cause cierto número de muertes pero que sea virtualmente imposible identificar cuáles de ellas tienen origen en él provoca un desconcierto que aumenta el temor por estas situaciones.

Otros efectos incluyen la evacuación de la población cercana. Los habitantes de Pripyat, el pueblo más próximo a la central, fueron evacuados al día siguiente, y en total cerca de 300.000 habitantes de zonas de Ucrania, Rusia y Bielorrusia debieron ser relocalizados. Alrededor de la central se estableció una zona de exclusión de 30 kilómetros para viviendas y está vigente hasta el día de hoy.

El accidente fue reconocido por la Unión Soviética dos días después, cuando se detectaron partículas radioactivas en los trabajadores de una planta nuclear en Suecia, a 1000 kilómetros de distancia.

La radioactividad se dispersó de acuerdo a las condiciones meteorológicas y los vientos. La contaminación ambiental más importante fue debida a los radioisótopos estroncio 90, iodo 131 y cesio 137, que afectaron la producción de alimentos de origen animal y vegetal en grandes zonas. Algunos países prohibieron el ingreso de ciertos alimentos con origen en las zonas afectadas.

El accidente tuvo lugar cerca de dos ríos y de una de las reservas de agua de superficie más importantes de Europa. En las primeras semanas esto fue un problema, pero al cabo de algunos meses el nivel de radiación en el agua fue compatible con los valores límite aceptados. Gran parte de la fauna pesquera de lagos y ríos ha tenido por algunos años niveles altos de radioactividad, principalmente relacionada con cesio 137, varias veces por encima del nivel admisible. Algunas malformaciones han podido ser relacionadas con el accidente; por ejemplo, en Alemania se observó un aumento de casos de síndrome de Down después de 9 meses y luego las cifras volvieron a los niveles usuales. En Turquía, en el mismo período, también se detectó en los nacimientos un aumento de malformaciones relacionadas con el sistema nervioso central.

El reactor en el que tuvo lugar el accidente se encuentra dentro de un *sarcófago* de cemento que tuvo que reacondicionarse recientemente, con un costo de cientos de millones de euros, para evitar nuevas fugas de radioactividad.