

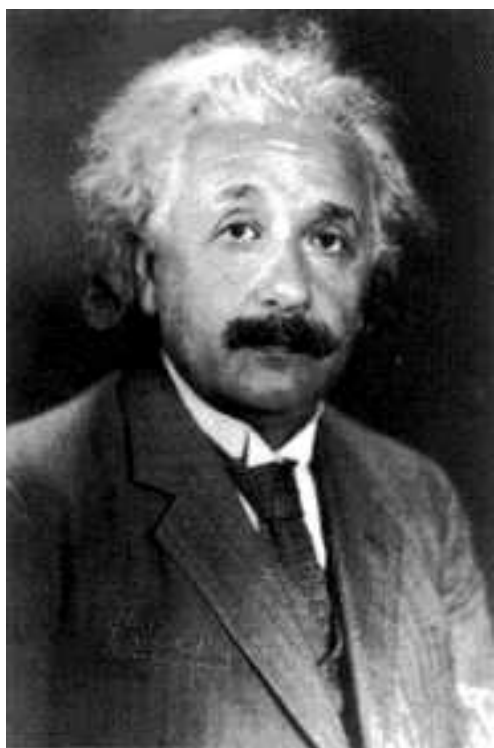
ENERGIA NUCLEAR

Una de las fuentes de energía más modernas y que sin lugar a dudas ha levantado más polémica, es sin duda la energía nuclear. La energía nuclear, tiene sus puntos positivos y negativos, pero ya lo veremos más adelante.

Introducción:

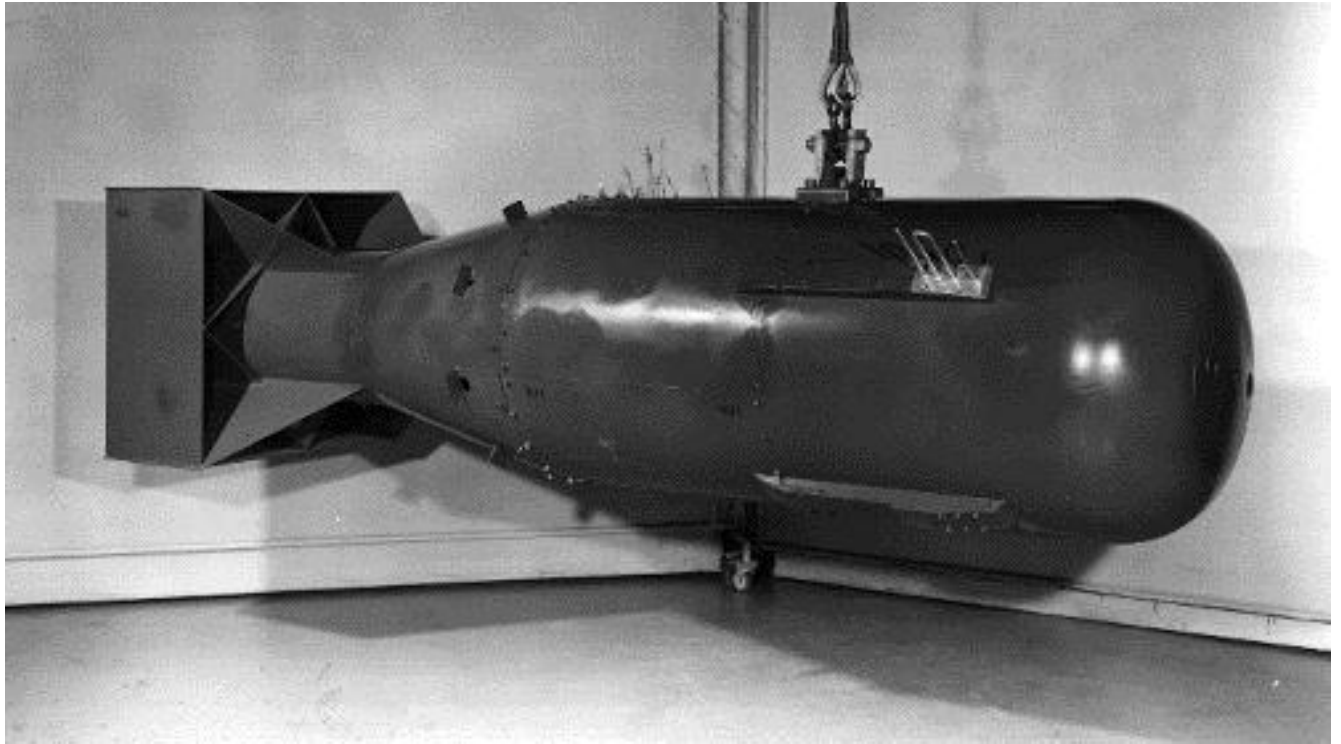
Se puede obtener energía nuclear de dos formas diferentes, mediante FUSIÓN, y mediante FISIÓN. La primera está en investigación, y se obtiene en laboratorios, ya que se emplea más energía en la obtención que la obtenida mediante este proceso, y por ello, todavía no es viable. La fisión es la que se emplea actualmente en las centrales nucleares.

Ahora, un poco de historia. Todo comenzó cuando Albert Einstein descubrió su famosa fórmula $E=MC^2$, donde E es la Energía liberada, M la diferencia de masa o incremento, y C es la velocidad de la luz. Esta ecuación significa que la masa se puede transformar en Energía y al revés, la energía en masa. Según esta fórmula, cuando en un proceso se pierde masa, esta no desaparece sin más, se transforma en energía, según la fórmula anterior. Según dicha fórmula, una pequeña cantidad de masa, libera gran cantidad de energía, pues la velocidad de la luz al cuadrado es: 90.000.000.000.000.000, que al multiplicarlo por la masa, resulta una energía grande en comparación con la masa transformada. Por ejemplo, si se transforma un miligramo de masa en energía, tenemos que la Energía liberada es: $E = 0.000001\text{Kg} \cdot 90.000.000.000.000.000 = 90.000.000.000$ julios = 90 giga julios.



Para hacerse una idea de la energía desprendida, supongamos que tenemos un reactor nuclear que es capaz de transformar un miligramo de masa en energía en una hora, y que se aprovecha toda la energía. Pues bien, la potencia sería $W=E / T$, donde E es la Energía y T el tiempo. Una hora son 3.600 segundos, luego $W=90.000.000.000 / 3600 = 25.000.000$ Watios = 25 megawatios. Una casa convencional, consume unos 3,3 kilowatios·hora. Si tenemos esto en cuenta, tenemos que con esa energía podríamos satisfacer a 7.576 hogares (téngase en cuenta que hay televisión, horno, frigorífico, estufa, .., aunque si consideramos que no llegan a la

máxima potencia, pues casi nunca se llega a 3300 vatios/hora, y que por la noche apenas consumen energía, se podría satisfacer a más del doble de hogares). En las centrales nucleares, hay muchos cilindros de Uranio, y con ello se consigue una gran cantidad de energía, ya que se consigue una potencia de unos 900 megawatios.



La primera aplicación práctica fue la bomba atómica, en la cual se liberó una energía de 12 kilotones (energía equivalente a 12.000 toneladas de explosivo TNT), destruyendo una ciudad entera. Esta es una forma de liberación de energía de forma incontrolada. En las centrales nucleares, el proceso está controlado, de forma que la energía no sea gigantesca, ya que destruiría el reactor, y se transformaría en una bomba atómica.



En la década de los 70, hubo una gran crisis energética originada por la escasez del petróleo. Esto promovió la construcción de las primeras centrales nucleares del mundo, teniendo por combustible el Uranio, evitando así, tener que depender del petróleo, y de los países exportadores, dado que con las reservas de Uranio, se puede seguir produciendo energía mediante este, durante cientos de años. Actualmente, existen aproximadamente 450 reactores nucleares en el mundo, que generan aproximadamente el 16% del total de la energía mundial generada. España construyó su primera central nuclear en 1.968 (C.N. José Cabrera) con una potencia de 160 MegaWattios.

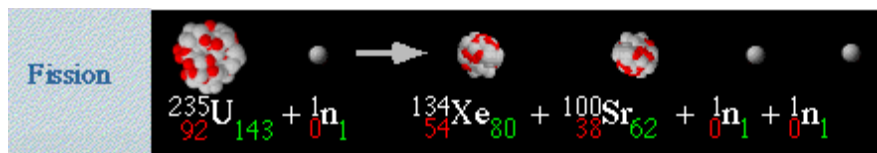
Tipos de energía nuclear:

Como hemos dicho antes, hay dos formas de obtener energía en un proceso nuclear:

FISIÓN:

Es el utilizado actualmente en las centrales nucleares. Cuando un átomo pesado (como por ejemplo el Uranio o el Plutonio) se divide o rompe en dos átomos más ligeros, la suma de las masas de estos últimos átomos obtenidos, más la de los neutrones desprendidos es menor que la masa del átomo original, luego se verifica la fórmula de Albert Einstein $E=MC^2$, con lo que se desprende Energía. Para romper un átomo, se emplea un neutrón (ya que es neutro eléctricamente, y no es desviado de su trayectoria), que se lanza contra el átomo a romper, por ejemplo, Uranio. Al chocar el neutrón, el átomo de Uranio-235 se convierte en Uranio-236 durante un brevísimo espacio de tiempo, pues tiene un neutrón más que es el que ha chocado con él, siendo este último átomo sumamente inestable, dividiéndose en dos átomos diferentes y más ligeros que el Uranio-236 (por ejemplo Kriptón y Bario; o Xenon y Estroncio), desprendiendo 2 ó 3 neutrones (los neutrones desprendidos, dependen de los átomos obtenidos, nosotros tomamos como ejemplo 3 neutrones, pero puede que solo se desprendan 2. En caso de obtener Bario y Kriptón, se desprenden 3 neutrones; mientras que si se obtiene Xenon y estroncio, solo se liberan 2 neutrones), y liberando energía. Estos 3 neutrones, vuelven a chocar con otros 3 átomos de Uranio-235, liberando en total 9 neutrones, energía y otros dos átomos más ligeros, y así sucesivamente, generando de esta forma una reacción en cadena.

Como se puede comprobar, en cada reacción sucesiva, se rompen $3n-1$ átomos, donde n es 1° , 2° , 3° , 4° , .. reacción. De esta forma, donde más energía se libera es al final, ya que se rompen gran cantidad de átomos, según la relación $3n-1$, liberándose gran cantidad de energía.

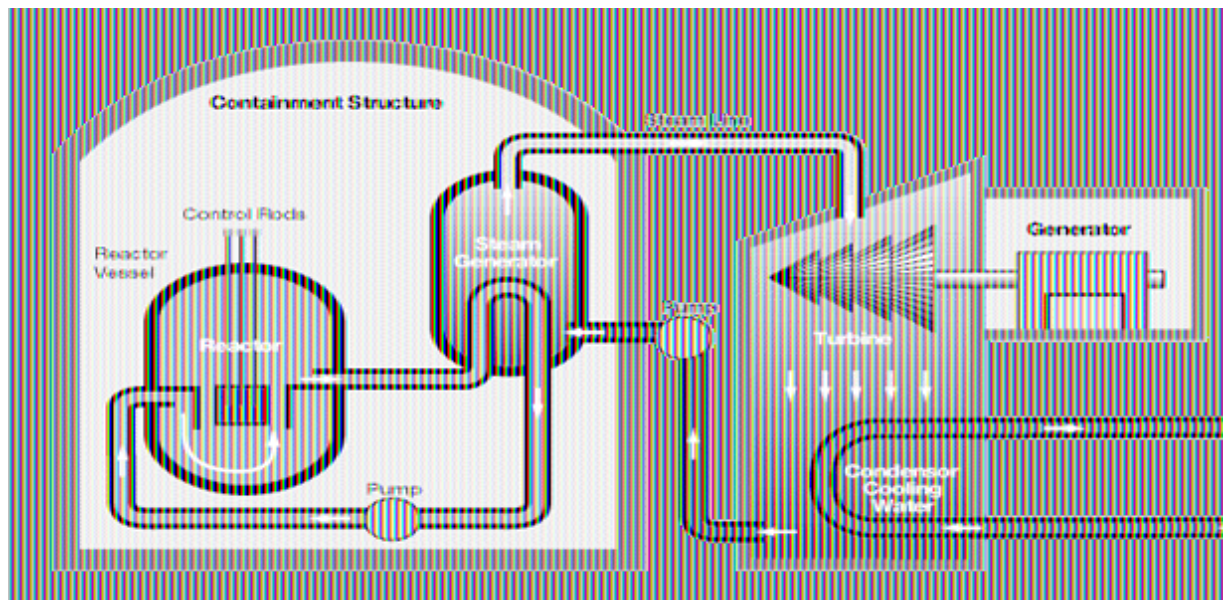


En las **centrales nucleares**, el proceso que se controla es el final, ya que en ellas, se genera energía de forma lenta, pues de lo contrario el reactor se convertiría en una bomba atómica, debido a que la mayor parte de la energía se libera al final, como hemos expuesto anteriormente. El proceso básico es el siguiente:

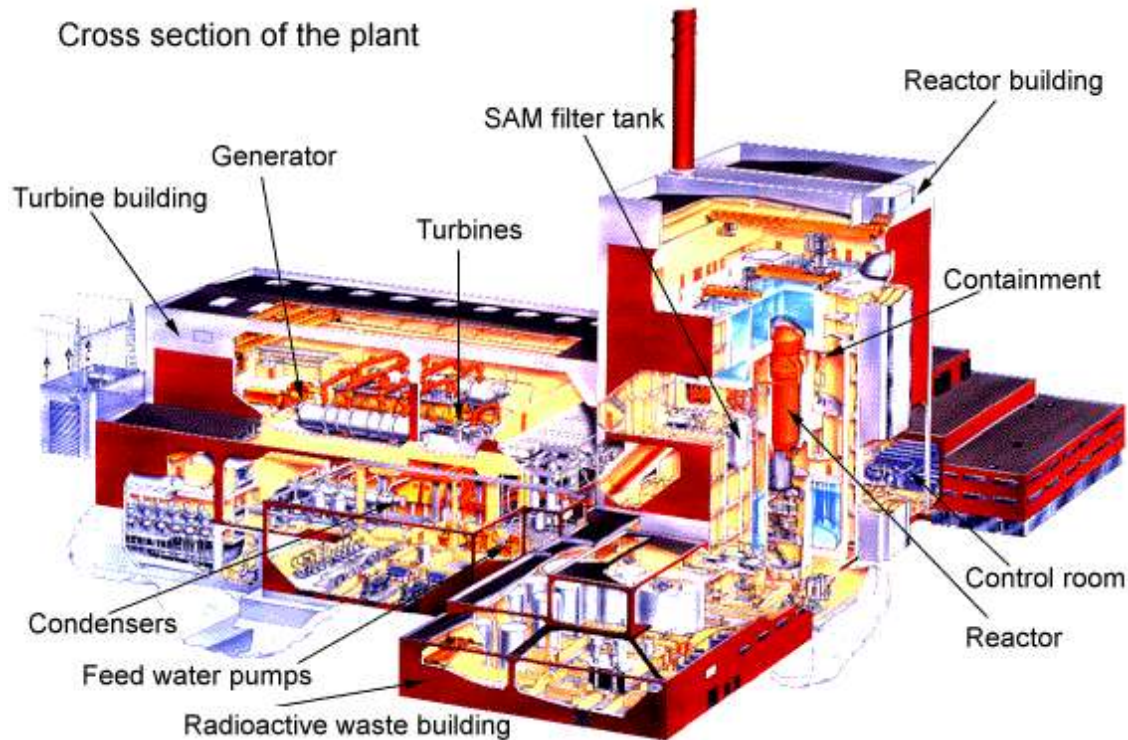
Las barras de Uranio enriquecido al 4% con Uranio-235, (recordamos que el Uranio natural es el U-238, y el que es fisionable es el U-235, que es un 0.71% del Uranio que se encuentra en la naturaleza, de ahí que solo un pequeño porcentaje del Uranio se aproveche y se requieran grandes cantidades de este para obtener una cantidad significativa de U-235. El U-238 no es fisionable, ya que es un átomo estable, y al romperlo, no habría diferencia de masa, y no se obtendría energía, cosa que con el U-235 sí se obtiene, al ser inestable.) se introducen en el reactor, y comienza un proceso de fisión. En el proceso, se desprende energía en forma de calor. Este calor, calienta unas tuberías de agua, y esta se convierte en vapor, que pasa por unas turbinas, haciéndolas girar. Estas a su vez, giran un generador eléctrico de una determinada potencia, generando así electricidad, al igual que con una dínamo de bicicleta, solo que estas turbinas y el generador, son muy grandes. Lógicamente, no se aprovecha toda la energía obtenida en la fisión, y se pierde parte de ella en calor, resistencia de los conductores, vaporización del agua, etc. Los neutrones son controlados para que no explote el reactor mediante unas barras de control (generalmente, de Carburo de Boro), que al introducirse, absorben

neutrones, y se disminuye el número de fisiones, con lo cual, dependiendo de cuántas barras de control se introduzcan, se generará más o menos energía. Normalmente, se introducen las barras de tal forma, que solo se produzca un neutrón por reacción de fisión, controlando de esta forma el proceso de fisión. Si todas las barras de control son introducidas, se absorben todos los neutrones, con lo cual se pararía el reactor. El reactor se refrigera, para que no se caliente demasiado, y funda las protecciones, convirtiéndose en una bomba atómica, incluso cuando este esté parado, ya que la radiación hace que el reactor permanezca caliente.

En el siguiente esquema, se muestra cómo trabaja una central nuclear, según lo explicado anteriormente:



Como curiosidad, en la fotografía de a continuación, aparece el plano de una central nuclear, que verifica el esquema anterior. Como se puede observar, una planta nuclear tiene más elementos de los que parece.



Más adelante, hablaremos de los peligros que representa actualmente la Fisión Nuclear (radiación, residuos, etc.), así como de los sistemas de seguridad mínimos que debe tener una central nuclear.

FUSIÓN:

La fusión nuclear, está actualmente en líneas de investigación, debido a que todavía hoy no es un proceso viable, ya que se invierte más energía en el proceso para que se produzca la fusión, que la energía obtenida mediante este método.

La fusión, es un proceso natural en estrellas, produciéndose reacciones nucleares por fusión debido a la elevadísima temperatura de estas estrellas, que están compuestas principalmente por Hidrógeno y Helio. El hidrógeno, en condiciones normales de temperatura, se repele entre sí cuando intentas unirlos (fusionarlos) a otro átomo de hidrógeno, debido a su repulsión electrostática. Para vencer esta repulsión electrostática, el átomo de hidrógeno debe chocar violentamente contra otro átomo de hidrógeno, fusionándose, y dando lugar a Helio, que no es fusionable. La diferencia de masa entre el átomo obtenido y el original es mayor que en la fisión, liberándose así una gran cantidad de energía (muchísimo mayores que en la fisión). Estos choques violentos, se consiguen con una elevada temperatura, que excita los átomos de hidrógeno, y se mueven muy rápidamente, chocando unos contra otros.

La primera reacción de fusión realizada por el ser humano, tuvo origen militar, con una bomba termonuclear (o también llamada bomba-H o de Hidrógeno), que para obtener la temperatura adecuada (casi la del Sol, unos 20 millones de grados centígrados), se utilizó una bomba atómica. Esta bomba termonuclear libera grandes cantidades de energía. Las bombas termonucleares actuales, alcanzan los 60 megatones (equivalente a 60 millones de toneladas de explosivo TNT), lo cual puede arrasarlo todo lo que haya en un radio de 40 ó 50 Kilómetros a la redonda, eso si incluir la radiación electromagnética y la onda expansiva, así como la lluvia ácida.

Peligros de la Energía Nuclear:

Actualmente, la industria nuclear de fisión, presenta varios peligros, que por ahora no tienen una rápida solución. Estos peligros, podrían llegar a tener una gran repercusión en el medio ambiente y en los seres vivos si son liberados a la atmósfera, o vertidos sobre el medio ambiente, llegando incluso a producir la muerte, y condenar a las generaciones venideras con mutaciones... Por ello, a las centrales nucleares se les exige unas grandes medidas de seguridad, que puedan evitar estos incidentes, aunque a veces, pueden llegar a ser insuficientes (Chernobil), debido a que se intenta ahorrar dinero en la construcción, y solo se pone una seguridad mínima.

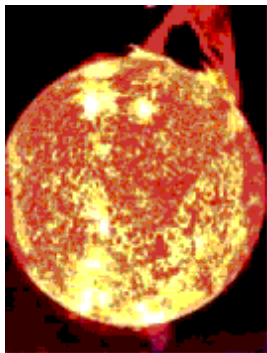
Los peligros más importantes, son entre otros, la radiación y el constante riesgo de una posible explosión nuclear, aunque este último es muy improbable con los actuales sistemas de seguridad de las centrales nucleares. Nos centraremos principalmente en la radiación, por ser el más representativo, debido a que las explosiones son muy improbables.

La Radiactividad, es la propiedad en virtud de la cual algunos elementos que se encuentran en la naturaleza, como el Uranio, se transforman, por emisión de partículas alfa (núcleos de Helio), beta (electrones), gamma (fotones), en otros elementos nuevos, que pueden ser o no, a su vez, radiactivos. La radiactividad es por tanto, un fenómeno natural al que el hombre ha estado siempre expuesto, aunque también están las radiaciones artificiales. Así pues, diferenciamos dos casos; radiación natural y radiación artificial:

RADIACIÓN NATURAL:

Siempre ha existido, ya que procede de las materias existentes en todo el universo, y puede ser radiación visible (como por ejemplo la luz), o invisible (por ejemplo los rayos ultravioleta). Esta radiación, procede de las radiaciones cósmicas del espacio exterior (Sol y estrellas), pues ellos son gigantescos reactores nucleares, aunque lejanos; también proceden estas radiaciones de los elementos naturales radiactivos (uranio, torio, radio) que existen de forma natural en el aire, agua, alimentos, o el propio cuerpo humano (potasio, carbono-14). Esta radiación natural, es del orden del 88% de la radiación total recibida por el ser humano, clasificándose de la siguiente manera:

- Radiación cósmica : 15 %
- Radiación de alimentos, bebidas, etc.,: 17 %
- Radiación de elementos naturales : 56 %



RADIACIÓN ARTIFICIAL:

Proviene de fuentes creadas por el hombre. Los televisores o los aparatos utilizador para hacer radiografías

médicas son las fuentes más comunes de las que recibimos radiación artificial. La generada en las centrales nucleares, pertenece a este grupo. El incremento de radiación que recibe una persona en un año como consecuencia del funcionamiento normal de una central nuclear, es de 1 milirem al año (1 **REM** = radiación de rayos gamma existente en el aire por centímetro cúbico de aire), cantidad que es 100 veces más pequeño que la radiación natural que recibimos en España. La radiación artificial total recibida por el ser humano es del orden del 12% de todas las radiaciones recibidas. Se clasifica de la siguiente manera:

- Televisores y aparatos domésticos: 0.2 %
- Centrales nucleares : 0.1 %
- Radiografías médicas : 11.7 %

Como es bien sabido, la radiación de los elementos trae serias consecuencias en los seres vivos, si sobrepasan los límites anuales de radiación normal. La consecuencia más importante es la mutación en los seres vivos, ya que afecta a las generaciones tanto presentes, como futuras, y sus efectos irían desde la falta de miembros corporales y malformaciones en fetos, esterilidad, ..., hasta la muerte. Por tanto, es importante que los residuos de las centrales nucleares, que son radiactivos, cumplan unas medidas de seguridad, para que no surjan posibles accidentes de fugas de radiación.

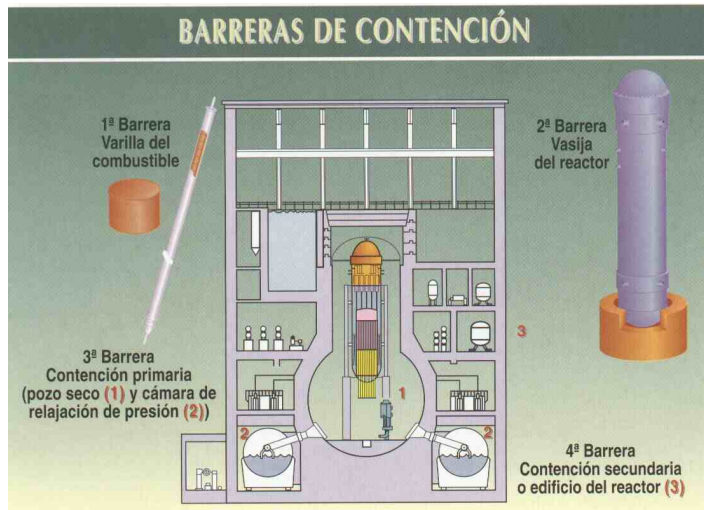
Debido a este importante factor de riesgo, las centrales nucleares, deben tener una serie de protecciones para prevenir un posible desastre, que tuviera fugas radiactivas al exterior. La **seguridad y protección radiológica** que ofrecen las centrales nucleares, son:

– Varilla de combustible:	Tubos con aleación de Circonio en cuyo interior se encuentra el Uranio.
– Vasija del reactor :	Recipiente cilíndrico de acero al carbono, recubierto interiormente de acero inoxidable, de 12.5 centímetros de espesor, con 18.5 metros de altura y 4.77 metros de diámetro. En su interior, se encuentra el núcleo del reactor, donde se obtiene el vapor que mueve la turbina.
– Edificio del reactor :	Es una estructura de hormigón armado de 1 metro de espesor y 55 metros de altura (12 de ellos, bajo tierra). Está diseñado para soportar las condiciones del mayor accidente posible.

En caso de emergencia, se activarían los siguientes **Sistemas de emergencia**. Se activan al romperse la tubería de refrigeración, y es un sistema autónomo automático, y se compone de:

– Inyección del Refrigerante a alta presión :	Inyecta refrigerante al interior de la vasija, justo encima del combustible.
– Rociado del núcleo	
– Inyección de refrigerante a baja presión :	Inyectan refrigerante a la vasija, inundando el núcleo.
– Sistema automático de alivio de presión :	Impide la presurización de la vasija por encima de los valores operacionales.
– Condensador de aislamiento :	Enfría el vapor existente en la vasija.
– Inserción de las barras de control	Al insertarlas, se para totalmente el reactor.

En el siguiente esquema, se muestran las barreras de contención de una central nuclear. Se puede observar de igual manera los sistemas de seguridad con los que cuentan las centrales nucleares.



Además de estos sistemas de emergencia, las centrales nucleares, también cuentan con detectores de incendios, fugas de radiación, y extintores adicionales.

Como hemos visto, las centrales nucleares, cuentan con grandes medidas de seguridad, pero la cosa no termina aquí, ya que estas centrales generan unos residuos radiactivos muy perjudiciales para los seres vivos, y el medio ambiente, por lo que deben ser tratados adecuadamente.

Se clasifican de la siguiente forma:

– **Alta actividad:**

Proceden de los elementos de combustible gastados, que se extraen del reactor, y se almacenan temporalmente en una piscina de agua, situada dentro de la central nuclear, y construida de hormigón, con paredes de acero inoxidable, de tal forma que no se escape la radiación. Una vez que la piscina se llena (que puede tardar décadas), los residuos se sacan de la piscina, y se almacenan bajo tierra, profundamente, en minas excavadas, con formaciones salinas para mantenerlo aislado de la humedad, y metidos en bidones blindados con material anticorrosivo. Este es el lugar definitivo, donde se guardarán durante cientos o incluso miles de años.

– **Media actividad:**

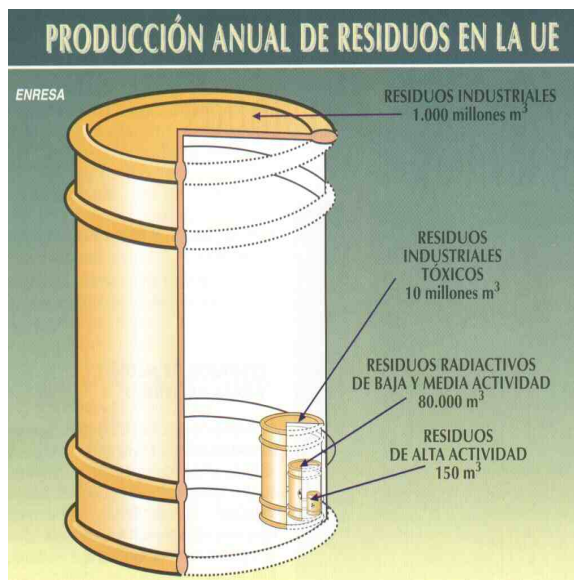
Son generados por radionucleidos liberados en el proceso de fisión en cantidades muy pequeñas, muy inferiores a las consideradas peligrosas para la seguridad y protección de las personas.

Los residuos son solidificados dentro de bidones de acero, utilizando cemento, alquitrán o resinas.

– Baja actividad:

Generalmente, son las ropas y herramientas que se utilizan en el mantenimiento de la central nuclear. Se prensan, y se mezclan con hormigón, de forma que formen un bloque sólido, son introducidos en bidones de acero. Después, estos bidones, al igual que los de **media actividad**, son trasladados al Centro de almacenamiento de El Cabril, en la provincia de Córdoba, en el caso de España.

Como se puede comprobar, las medidas de seguridad para prevenir posibles fugas radiactivas, son muy altas, evitando así, que se produzca un accidente radiactivo. La radiación liberada, es por tanto muy baja, prácticamente nula.



Ventajas de la Energía Nuclear:

La energía nuclear, genera un tercio de la energía eléctrica que se produce en la Unión Europea, evitando así, la emisión de 700 millones de toneladas de CO₂ por año a la atmósfera. Esta cifra equivale a que todos los coches que circulan por Europa, unos 200 millones, se retiren de las calles. A escala mundial, en 1.996, se evitó la emisión de 2,33 billones de toneladas de CO₂ a la atmósfera, gracias a la energía nuclear.

Por otra parte, también se evitan otras emisiones de elementos contaminantes que se generan en el uso de combustibles fósiles. Tomemos como ejemplo, la central nuclear española Santa María de Garoña, que ha evitado que se descargue a la atmósfera 90 millones de toneladas de CO₂, 312.000 toneladas de NO_x, 650.000 toneladas de SO₂, así como 170.000 toneladas de cenizas, que contienen a su vez más de 5.200 toneladas de arsénico, cadmio, mercurio y plomo.

Los vertidos de las centrales nucleares al exterior, se pueden clasificar como mínimos, y proceden, en forma gaseosa de la chimenea de la central, pero se expulsan grandes cantidades de aire, y poca de radiactividad; y en forma líquida, a través del canal de descarga.

Por su bajo poder contaminante, las centrales nucleares, frenan la lluvia ácida, y la acumulación de residuos tóxicos en el medio ambiente. Como dato: una central nuclear no puede verter a la atmósfera más de 3

curios/año, según la normativa vigente (1 **CURIO** = 37.000 millones de desintegraciones por segundo = radiactividad de 1 gramo de Radio).

Además, se reducen el consumo de las reservas de combustibles fósiles, generando con muy poca cantidad de combustible (Uranio) muchísima mayor energía, evitando así gastos en transportes, residuos, etc.

CONSUMOS Y RESIDUOS DE URANIO, CARBÓN Y FUEL-OIL PARA UNA CENTRAL TIPO 1.000 MW

COMBUSTIBLE	CARBÓN	FUEL OIL	NUCLEAR
Consumo medio por Kw/hora	380 gr.	230 gr.	4,12 mg. Uranio
Consumo Anual	2,5 millones de toneladas	1,52 millones de toneladas	27,2 toneladas
Transporte anual	66 barcos de 35.000 toneladas o 23.000 vagones de 100 toneladas	5 petroleros de 300.000 toneladas + oleoductos	3 ó 4 camiones
CO2, millones de toneladas	7,8	4,7	cero
SO2, toneladas	39.800	91.000	cero
NO2, toneladas	9.450	6.400	cero
Cenizas de filtros, toneladas	6.000	1.650	cero
Escorias, toneladas	69.000	despreciables	cero
Cenizas volantes, toneladas	377.000	cero	cero
Radiación: gases, Curios/año	0,02 - 6	0,001	1,85
Radiación: líquido, Curios/año	cero	cero	0,1
Radiación: sólidos	despreciable	cero	13,5 m3, (alta) 493 m3, (media y baja)

Fuente de la tabla: Nucleonor