



Física y Tecnología Energética

**13 - Energía Nuclear de Fisión.
Radioactividad y seguridad.**

Radioactividad

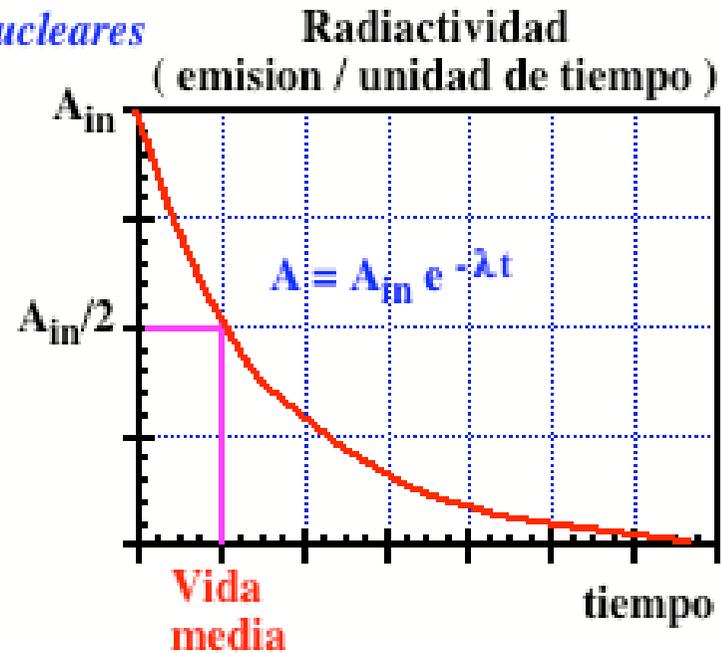
Composición

α núcleos de He , β electrones , γ fotones
 n neutrones

Origen

α, β, γ se emiten en la desintegración radiativa de núcleos activos
 n proceden de reacciones nucleares

La Emisión Radiativa disminuye con el tiempo

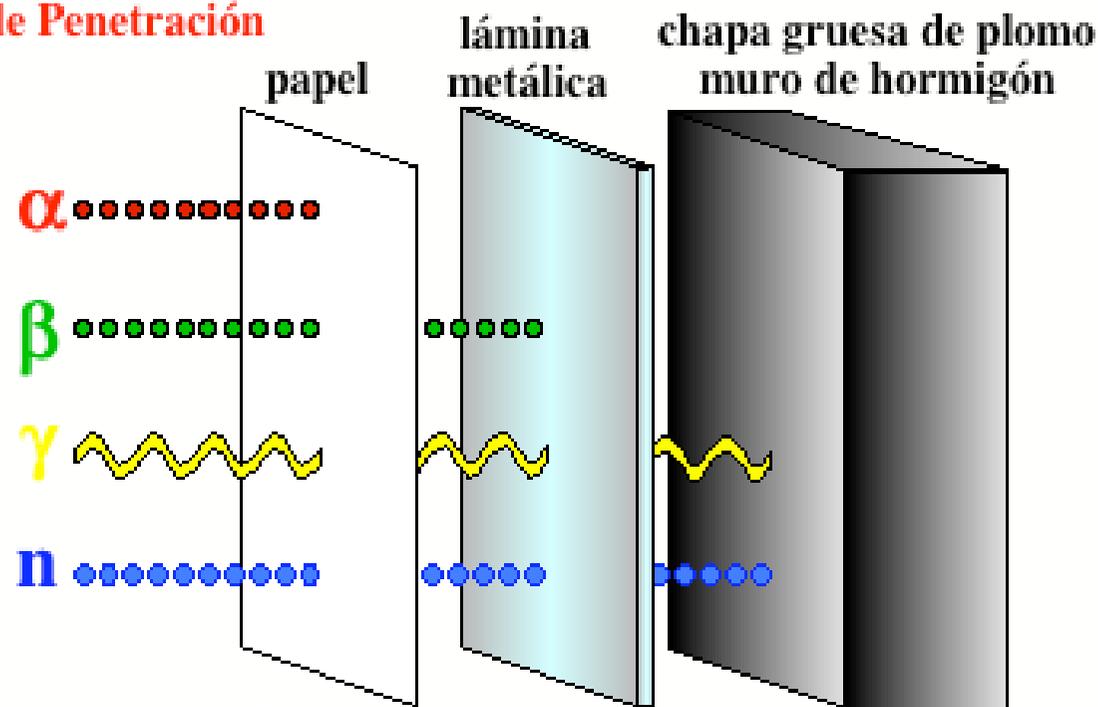


Radiación ionizante

Interacción con la materia

- *Ionización de átomos y moléculas . Disociación y Radicales libres.*
- *Alteración en las posiciones nucleares en sólidos y moléculas.*
Mayor fragilidad y cambio de propiedades (α , n)
- *Absorción de n con transmutación. Radiactividad Inducida.*

Poder de Penetración



Dosimetría de la Radiación

No tenemos sentidos que detecten la radiactividad
Muy fácil de detectar instrumentalmente

Unidades de dosis recibida (S.I.)

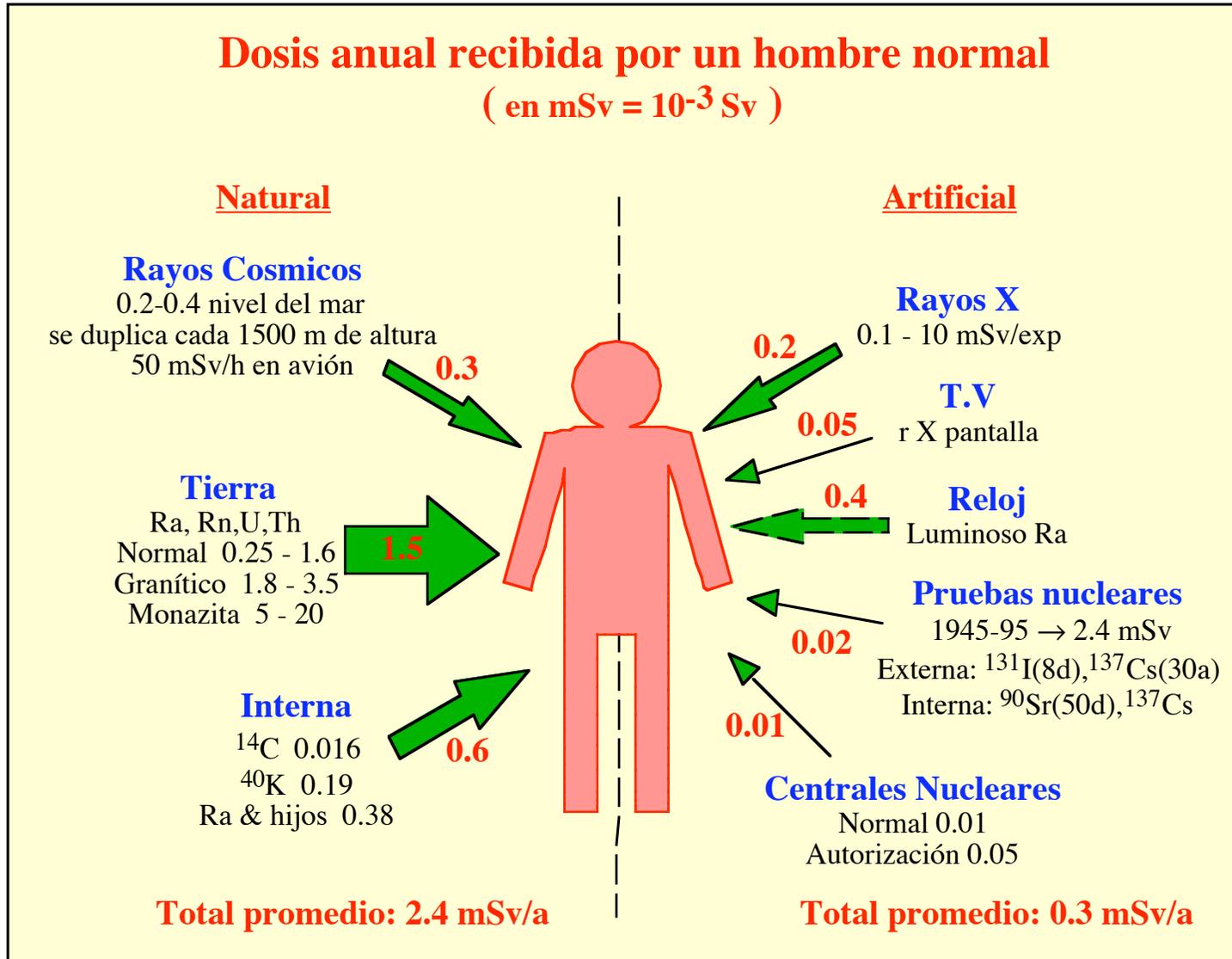
1 Gray = absorción de 1J de radiación en 1Kg

1 Sievert = 1Gy \times EBR (efecto biológico relativo)

EBR =1 para X, γ , β ; = 2.5 n lentos ; = 10 para α y n rápidos
depende también de la zona del cuerpo.

La dosis absorbida disminuye con la distancia $\sim 1/d^2$

Radiactividad Natural



¡ Estamos recibiendo impactos de unas 15 000 partículas cada segundo !

Daños producidos por la radiactividad



Dosis	Efectos inmediatos
250 mSv	Ningun efecto detectable
1 Sv	Anemia, nauseas vomitos. Recuperación en 6 meses
4 Sv	Hemorragias internas Muerte del 50% en 6 semanas
10 Sv	Muerte segura en horas o días

Consecuencias a largo plazo

A bajas dosis => riesgo estadístico

En una población de 100 000 habitantes que reciba una dosis individual de 100 mSv, (50 veces la radiación natural anual) aparecerán probablemente:

20 casos de leucemia entre los 2 y 20 años siguientes

100 casos de cancer entre los 10 y 40 años siguientes

5 casos de síndrome de Down

por encima de las tasas normales

Sin embargo, la esperanza de vida de trabajadores en nucleares y radiólogos es mayor que la de la sociedad en general

Límites legales de exposición

a) Personas profesionalmente expuestas

50 mSv en todo el cuerpo y 500 mSv en manos, antebrazos, pies y tobillos

250 mSv en toda la vida del trabajador

10 mSv durante el periodo de embarazo. (1 mSv a partir del 2002)

b) Miembros del público

5 mSv en todo el cuerpo. (1 mSv a partir del 2002)

En el exterior no se pueden superar los 0.05 mSv para que una instalación nuclear reciba autorización.

*En general las dosis reales recibidas tanto por trabajadores de instalaciones radiactivas como por el público en general son muy inferiores a los límites legales.
(La dosis medida en el exterior de las centrales nucleares españolas es menor de 0.01 mSv/año)*

Dosis natural en España: 1-3 mSv/año

Dosis natural en el mundo: 0,5-100 mSv/año

(no se detectan efectos a corto plazo por debajo de 250 mSv)

Riesgos en un Reactor Nuclear

*Un reactor nuclear no es una bomba,
pero no está exento de riesgos*

- * **Emisión de sustancias radiactivas al exterior**

Seguridad Radiológica

- * **Perdida de control de la reactividad del reactor**

Sistemas de Control y Parada del reactor

Seguridad intrínseca

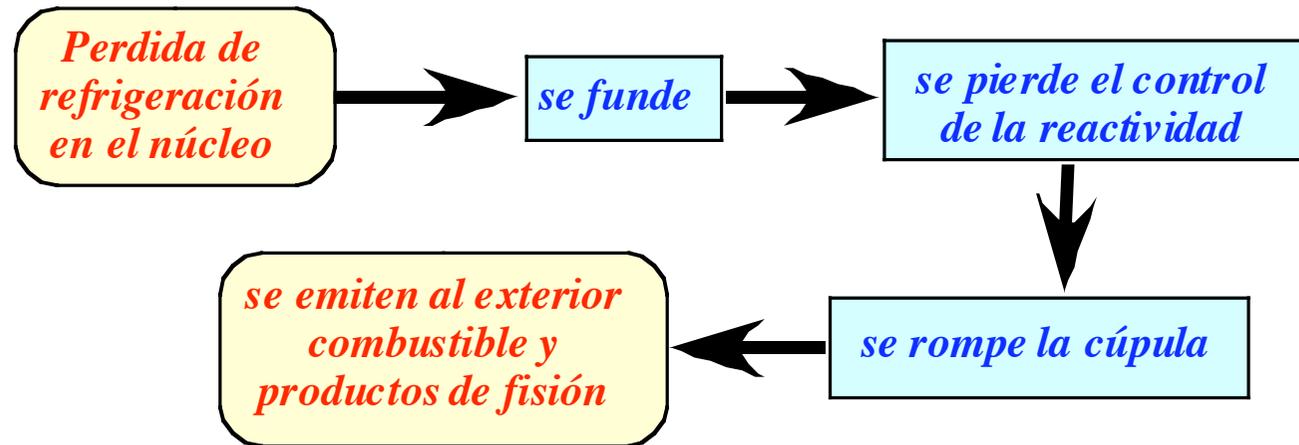
Sistemas de refrigeración de emergencia

- * **Proliferación de armamento nuclear**

Control Internacional

Seguridad en un Reactor Nuclear

Un Reactor debe ser seguro frente al mayor accidente posible



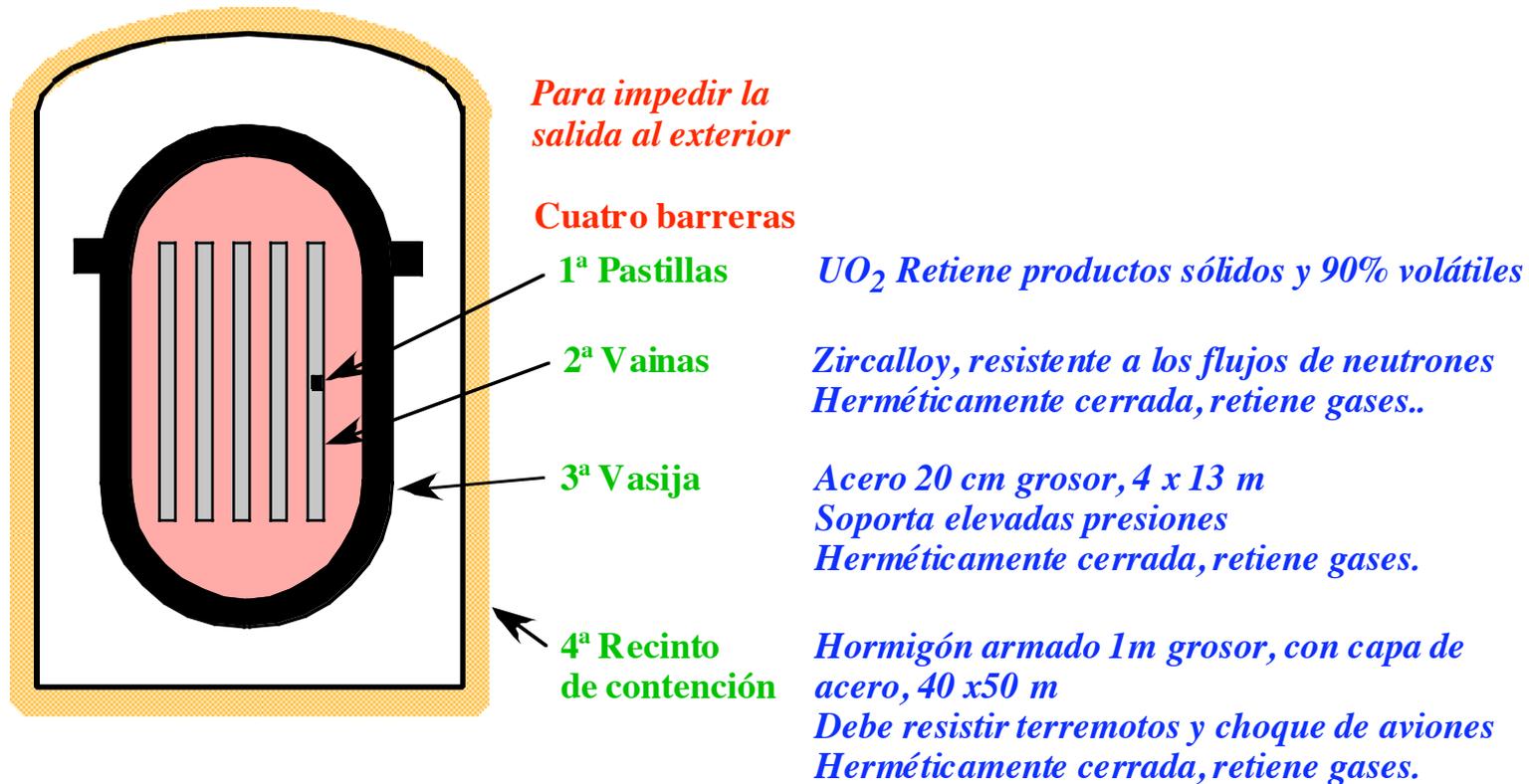
**** Cualquier sistema de seguridad puede fallar por....**

*Estar mal concebido, mal diseñado, mal construido,
empleo de materiales no adecuados, elementos con poros y fisuras,
desgaste de piezas, falta de mantenimiento,
falta de preparación del personal,.....*

**Garantía de Calidad en todos los factores
Redundancia y Separación en todos los sistemas**

Productos Radiactivos

- Combustible y productos de Fisión (alguno gaseoso)
- Productos de activación $^{58}\text{Fe} + n \rightarrow ^{59}\text{Fe} (\beta 44.5 \text{ d})$
 $\text{H} + n \rightarrow \text{D} \quad \text{D} + n \rightarrow \text{T} (\beta 12.3 \text{ a})$



Los líquidos, gases y aire viciado → Depósito de decaimiento
Depurados y filtrados → Exterior

Control Radiológico

Interior

- Red de detectores fijos y equipos portátiles en todas las áreas
- Pórticos detectores en todas las salidas
- Dosímetros personales para cada trabajador

En total una central tiene unos 300 detectores de radiación

Exterior

- Control permanente del aire en los circuitos de ventilación
- Análisis periódicos de hierba, leche de las vacas, aguas subterráneas y superficiales
- Vigilancia periódica de la radiactividad medioambiental con equipos fijos y móviles

El control lo efectúan:

Central Nuclear y Organismos Estatales

Dosis típicas medidas en el exterior < 0.01 mSv/año

Dosis de Radiactividad admisible al exterior 0.05 mSv/año

Seguridad y Control del reactor

*Minimizar la probabilidad de que ocurra un accidente
Minimizar las consecuencias del mismo si llegara a ocurrir*

- **Diseño de la criticidad del reactor**

Para aumentar la potencia debe tener respuesta lenta

- **Seguridad intrínseca.**

*Si disminuye la Reactividad al aumentar
la Temperatura se autoestabiliza*

- **Control de la operación**

*Medida continua y redundante de todos los parámetros
temperaturas, flujos de neutrones, caudal de refrigerante....
El sistema de control debe dar señales de alarma,
e imposibilitar maniobras peligrosas del operador,
independientemente de su voluntad*

Seguridad y Control del reactor

- **Parada del reactor**

*Ante cualquier desviación de algún parámetro
introducción inmediata y AUTOMÁTICA de las barras de control,
llevando rápidamente el Reactor a estado subcrítico.*

*Hay 4 canales de medida y se dispara cuando
hay coincidencia de al menos dos de ellos (evitar paradas espúreas)*

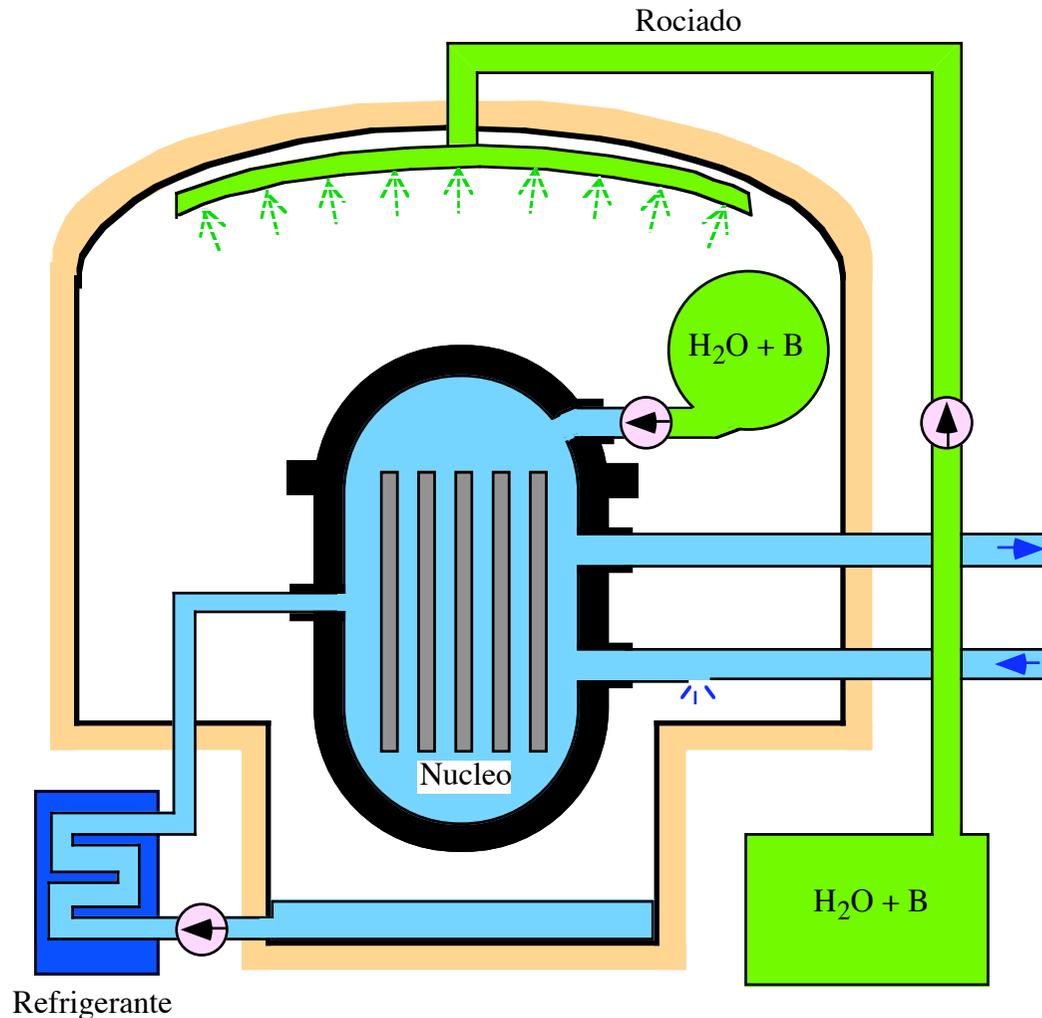
- **Control de Calidad Exigente**

*En la planificación, diseño, fabricación, construcción y
operación de todos los elementos*

Revisiones periódicas de todos los sistemas

Hay que conseguir 0 defectos, y evidencias objetivas de que es así

Sistema de refrigeración de emergencia



Si falla el circuito primario de refrigeración, aunque se introduzcan las barras de control, el calor residual podría fundir el núcleo.

Entonces entra en funcionamiento el sistema de emergencia

- Varios depósitos de agua fría borada independientes
- Bombas con grupos diesel independientes
- En caso de que todo falle, el recinto debe soportar la presión

Accidentes Nucleares

El riesgo de accidentes es muy bajo en las centrales modernas

Probabilidad de accidente con fusión del núcleo

1 vez en 20 000 años

Probabilidad de accidente con emisión de radiactividad al exterior

1 vez en 100 000 años

Si hay 500 centrales \Rightarrow 1 fusión del núcleo cada 40 años

con emisión de radiactividad cada 200 años

**Desde 1945 en todo el mundo dos accidentes
en centrales civiles con emisión de radiactividad**

Accidente de Three Mile Island (Harrisbourg. Penn. USA)

- *Dos Reactores tipo PWR de 906 MW cada uno*
- *28 de marzo de 1979. Obstrucción de una válvula del circuito de refrigeración del núcleo. La válvula no se abre pero en los paneles de control figura como que está abierta.*
- *Cambio de turno. Se tarda mucho en identificar el problema. Cadena de errores y sistemas de emergencia que no funcionan correctamente*
- *El núcleo comienza a fundirse. Se hecha el agua de refrigeración demasiado tarde. Se forma burbuja de Hidrógeno en la cúpula.*
- *Se dejan escapar gases radiactivos al exterior. La población de las cercanías recibió una dosis de 0.5 mSv*
- *Se tardan dos días en controlar la situación.*

Conclusiones: Deficiente formación del personal

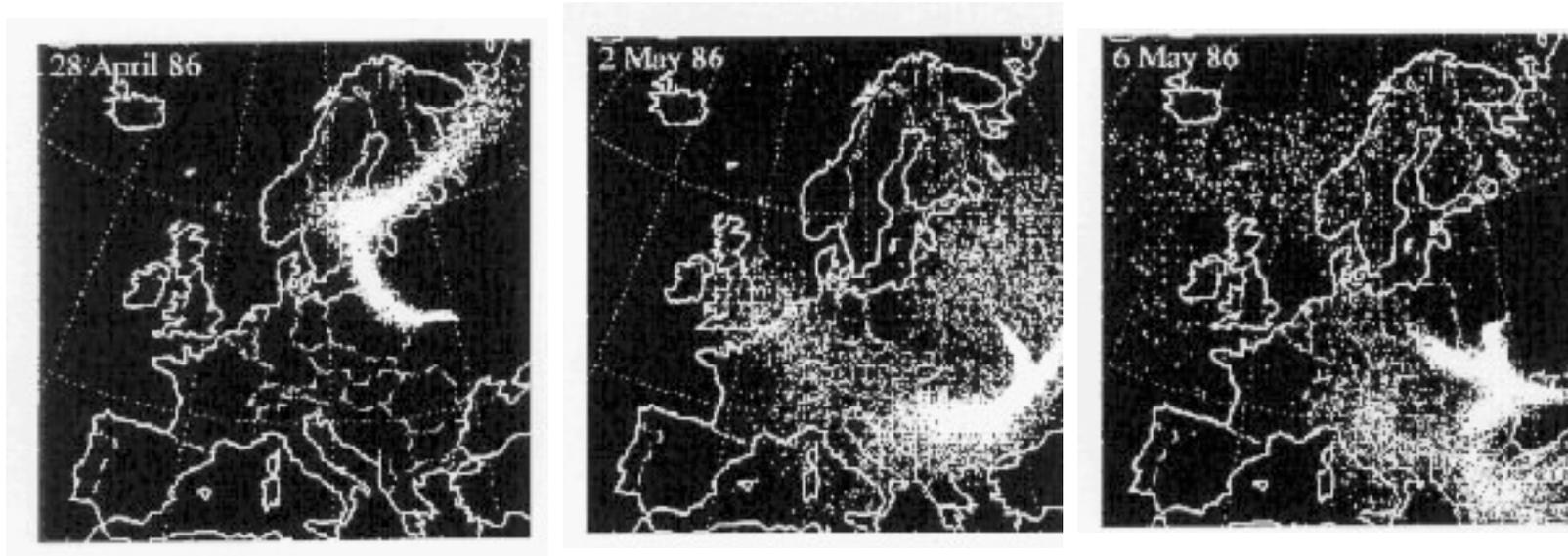
Los indicadores deben encenderse no cuando se de la orden, sino cuando se cumpla

Accidente en Chernobil (Ucrania URSS)

- *4 Reactores tipo Grafito-Agua de 1000 MW cada uno. Sin edificio de contención.*
- *26 de abril de 1986 Se realiza un experimento. Quieren estudiar si el calor residual que hay al parar el reactor es suficiente para hacer funcionar las bombas de refrigeración de emergencia*
- *Cuando todo está preparado se interrumpe por ordenes superiores. Después aunque las condiciones no eran buenas, deciden realizar el experimento .*
- *Se desconectan sistemas automáticos de seguridad. El reactor es inestable, con reactividad positiva. Un transitorio de potencia (se multiplica por 3 en 2 s rompe la cavidad del reactor por exceso de presión.*
- *En contacto con el aire el grafito arde. Se pierde el control. El nucleo comienza a fundirse. Se emiten grandes cantidades de productos radiactivos radiactivos al exterior, durante todo el mes siguiente.*
- *El gobierno de la URSS no avisó a ningún pais vecino. El mundo se enteró de la existencia de la nube radiactiva por los detectores externos de las centrales nucleares Suecas*

Accidente en Chernobil (Ucrania URSS)

- *Murieron 30 trabajadores y 209 tuvieron que ser tratados de síndrome radioactivo agudo.*
- *600 000 personas participaron en la construcción de una estructura de hormigón de protección (sarcófago) , recibiendo entre 100 y 500 mSv*
- *La población cercana recibió dosis de 50-100 mSv. Se evacuaron 116 000 personas que vivían en un radio de 30 km. Otras zonas de Ucrania, Rusia y Bielorusia recibieron dosis medias de 10 mSv y fue necesario evacuar 220 000 personas. La población en Europa Norte y Central recibió una dosis media de 2 mSv.*



Nube radiactiva generada por Chernobil

Chernobil. 15 años después

- *1 800 casos de cancer de tiroides en niños. 10 muertos*
- *4 000 muertos entre los 600 000 trabajadores del sarcófago.*
- *Sorprendentemente no se observa especial incidencia de cáncer ni de leucemia*
- *Efectos psicosomáticos y diversos daños en 70 000 ucranianos*
- *El reactor y sus residuos siguen en el sarcófago.*
- *Hay un miedo universal a la catástrofe de Chernobil. La mayor parte de los países han suprimido sus planes nucleares*
- **20 diciembre 2000 – Se cierra la planta de Chernobil**



Conclusiones:

- **En Chernobil se violaron de todas las normas de seguridad**
- **El diseño del reactor tenía numerosos defectos**
- **Los accidentes nucleares son un problema internacional.**

Incidente de Vandellós (Tarragona)

- *Reactor del tipo grafito-gas de 480 MW.*
- *19 de Octubre de 1989. Rotura de una paleta en el interior de la turbina de vapor que destroza el eje de turbinas y generadores eléctricos. Incendio en el edificio de turbinas.*
- *Parada inmediata del reactor. Se ponen en marcha todos los sistemas de refrigeración de emergencia. En ningún momento el núcleo del reactor recibe ningún daño.*
- *La dirección tarda mucho en comunicar el accidente al CSN y a las autoridades. La actuación de los bomberos y servicios de protección civil puso de manifiesto muchas deficiencias.*
- *El incendio agrietó los muros y el agua del mar penetró en los sótanos donde se encuentran las bombas de los circuitos de refrigeración. El reactor nuclear ya estaba apagado*

**Conclusiones: Buena preparación técnica del personal de la central,
Injustificables retrasos en dar la alerta,
Preparación insuficiente de los poderes públicos y servicios de
protección civil.**

Seguridad Nuclear

En las demás centrales nucleares civiles, muchos pequeños incidentes y alguno no tan pequeño,

(unas dos paradas imprevistas al año por central)

pero...sin emisión de radiactividad

En las instalaciones militares han ocurrido numerosos accidentes de diversa gravedad

¿Hay algún sistema de seguridad completamente a prueba de errores humanos ?