

# Chernobyl

causas y consecuencias

*"It was my hope that,  
by answering questions about the past,  
we could restore a vision of a brighter future  
for the regions concerned.  
And that remains my hope"*

Dr. Mohamed Elbaradei  
Director General de IAEA  
Premio Nobel de la Paz 2005

\* mRoentgen / h

J. Basualdo  
J. Theler

Instituto Balseiro  
Universidad Nacional de Cuyo  
Comisión Nacional de Energía Atómica

Octubre 2006





## 1 La central

Características generales

Ubicación geográfica

## 2 El reactor

El reactor RBMK-1000

Detalles

## 3 El accidente

Secuencia temporal

¿Por qué?

## 4 Consecuencias

Personas involucradas

Impacto en el público

Dosis

## 5 Resumen



La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Complejo de centrales nucleares que toma su nombre de la ciudad soviética de Chernobyl (la traducción literal es “ajenjo”), situado a 105 km al norte de Kiev
- Reactores nucleares del tipo RBMK -
  - Реактор Большой Мощности Канальный
  - Reactor Bolshoi Moschonosti Kalalyni
  - Reactores de alta presión con canales

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Complejo de centrales nucleares que toma su nombre de la ciudad soviética de Chernobyl (la traducción literal es “ajenjo”), situado a 105 km al norte de Kiev
- Reactores nucleares del tipo RBMK -
  - Реактор Большой Мощности Канальный
  - Reactor Bolshoi Moschonosti Kalalyni
  - Reactores de alta presión con canales
- Estado del plan nuclear soviético en 1986
  - 43 reactores en operación - 27 GW(e)
    - 27 RBMK
    - 16 VVER
  - 36 en construcción - 37 GW(e)
    - 8 RBMK
    - 28 VVER
  - 34 planificados - 36 GW(e)
    - 7 RBMK
    - 27 VVER

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Diseño soviético de la década del sesenta
- Originalmente utilizado para producción de plutonio y calefacción
- Entraron en operación comercial por primera vez en 1974
- Se construyen de a pares
  - Comparten edificios y sistemas auxiliares
  - El edificio de turbinas alberga las facilidades para ambos reactores

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Diseño soviético de la década del sesenta
- Originalmente utilizado para producción de plutonio y calefacción
- Entraron en operación comercial por primera vez en 1974
- Se construyen de a pares
  - Comparten edificios y sistemas auxiliares
  - El edificio de turbinas alberga las facilidades para ambos reactores
- Centrales RBMK sólo en la USSR (2019)
  - 1973 - Leningrad: 1 shutdown 3 en operación
  - 1976 - Kursk: 4 en operación
  - 1977 - Chernobyl: 4 shutdown
  - 1982 - Smolensk: 3 en operación
  - 1983 - Ignalina: 2 shutdown

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen

# Ubicación geográfica



La central

Descripción

**Ubicación**

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

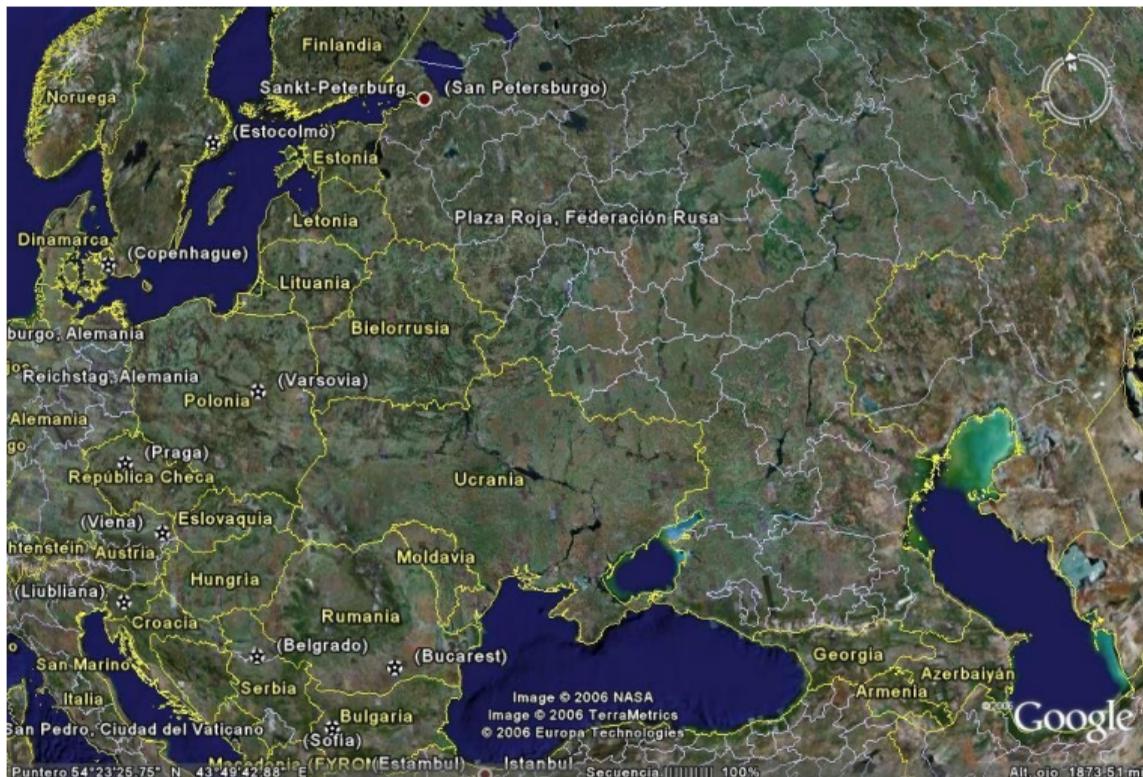
Personas

Impacto

Dosis

Resumen

# Ubicación geográfica



La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

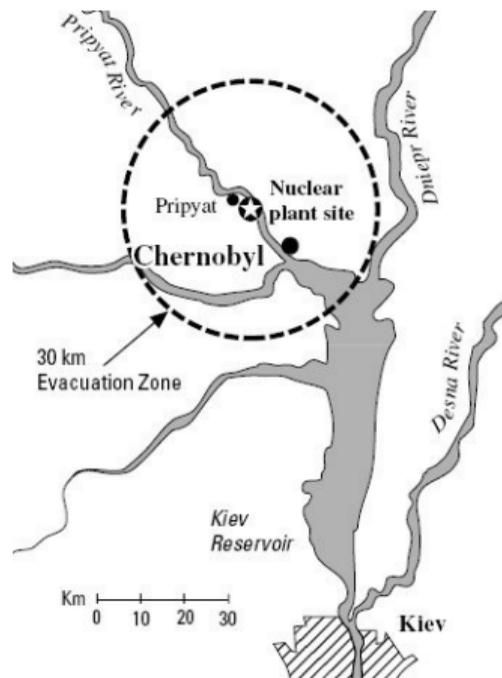
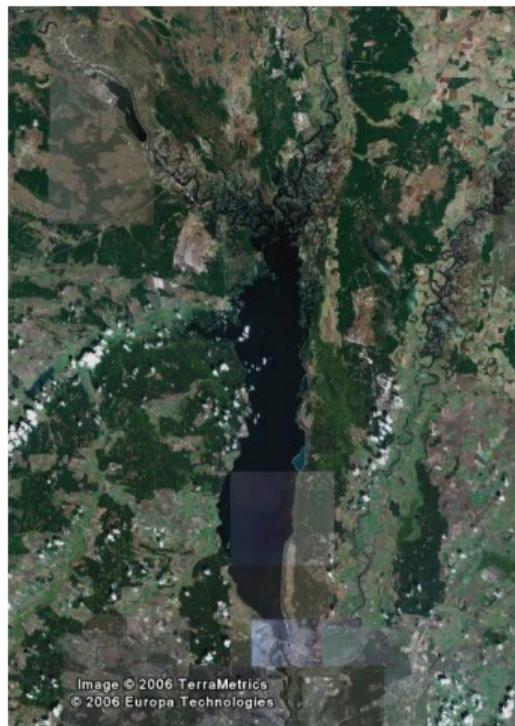
Personas

Impacto

Dosis

Resumen

# Ubicación geográfica



La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen

# Ubicación geográfica



## La central

Descripción

**Ubicación**

## El reactor

Diseño

Detalles

## El accidente

Eventos

¿Por qué?

## El después

Personas

Impacto

Dosis

## Resumen



# Ubicación geográfica



La central

Descripción

**Ubicación**

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



# Ubicación geográfica



La central

Descripción

**Ubicación**

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

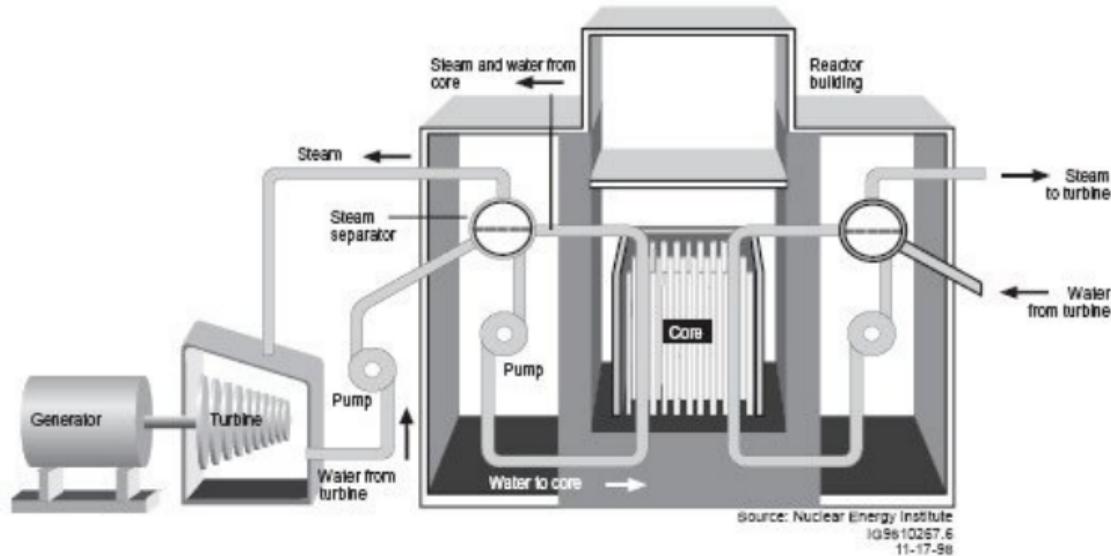
Impacto

Dosis

Resumen



# Esquema general del reactor



- Potencia 3200 MW térmicos → 1000 MW eléctricos
- 2 loops de refrigeración de 500 MW(e) cada uno



La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Contexto: **guerra fría**
- Visión soviética
  - No hay contención  $\Rightarrow$   $\downarrow$  costo
  - No hay RPV  $\Rightarrow$   $\downarrow$  costo
  - No hay generadores de vapor  $\Rightarrow$   $\downarrow$  costo
  - Núcleo grande  $\Rightarrow$  optimización neutrónica
  - Válvulas para controlar flujo de agua en cada canal  $\Rightarrow$  buen control de potencia

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

**Diseño**

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Contexto: **guerra fría**
- Visión soviética
  - No hay contención  $\Rightarrow$   $\downarrow$  costo
  - No hay RPV  $\Rightarrow$   $\downarrow$  costo
  - No hay generadores de vapor  $\Rightarrow$   $\downarrow$  costo
  - Núcleo grande  $\Rightarrow$  optimización neutrónica
  - Válvulas para controlar flujo de agua en cada canal  $\Rightarrow$  buen control de potencia
- Visión occidental
  - Reactores duales para producir tanto energía como  $^{239}\text{Pu}$
  - Diseño viciado

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

**Diseño**

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

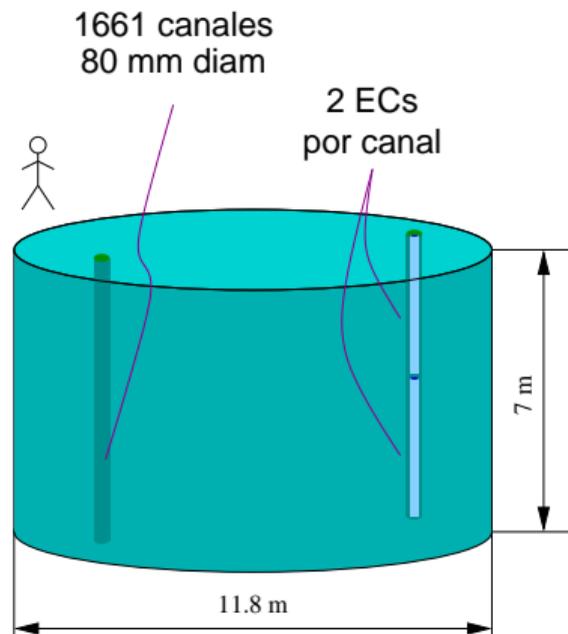
El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- ciclo directo
- canales de presión Zr-Nb
- refrigerado por H<sub>2</sub>O
- UO<sub>2</sub> al 2%
- recarga on-line
- moderador de grafito
- cladding de Zr-Nb  $\varnothing$  13.6 mm
- 211 barras de control de B<sub>4</sub>C
- presión 7 MPa  $\sim$  70 atm
- $T_{in} = 270^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{out} = 284^{\circ}\text{C}$
- 2 loops independientes
- 2 turbogeneradores de 500 MW cada

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen

# The devil is in the details

Detalle I: el coeficiente de vacío



## Parámetros nucleares para la moderación de neutrones

	$\xi$	$\xi\Sigma_s$	$\xi\Sigma_s/\Sigma_a$
H <sub>2</sub> O	0.920	1.35	71
C	0.158	0.06	192

	Carbono	Agua liviana	Orden
Moderación	mala	buena	diez
Absorción	baja	alta	cien

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen

# The devil is in the details

Detalle I: el coeficiente de vacío



## Parámetros nucleares para la moderación de neutrones

	$\xi$	$\xi\Sigma_s$	$\xi\Sigma_s/\Sigma_a$
H <sub>2</sub> O	0.920	1.35	71
C	0.158	0.06	192

	Carbono	Agua liviana	Orden
Moderación	mala	buena	diez
Absorción	baja	alta	cien

### Conclusión

El agua líquida se comporta como **absorbente** frente al grafito, que es principalmente **moderador**

⇒ el coeficiente de vacío  $\alpha_v$  es esencialmente **positivo**.

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen

# The devil is in the details

## Detalle I: el coeficiente de vacío



- El coeficiente de vacío  $\alpha_v$  depende de
  - el pitch entre canales
  - la distribución espacial del flujo neutrónico
  - la presencia de venenos quemables
  - el enriquecimiento
  - el quemado del combustible

### La central

Descripción

Ubicación

### El reactor

Diseño

Detalles

### El accidente

Eventos

¿Por qué?

### El después

Personas

Impacto

Dosis

### Resumen



- El coeficiente de vacío  $\alpha_v$  depende de
  - el pitch entre canales
  - la distribución espacial del flujo neutrónico
  - la presencia de venenos quemables
  - el enriquecimiento
  - el quemado del combustible
- La importancia del coeficiente de vacío dentro del coeficiente total  $\alpha$  de potencia depende de las condiciones termohidráulicas del reactor.
- A plena potencia (3200 MW térmicos) el coeficiente global de potencia  $\alpha < 0$ .
- Pero por debajo de 700 MW térmicos el coeficiente vacío domina y  $\alpha$  se hace positivo  
 $\Rightarrow$  el reactor se vuelve **inestable!**

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

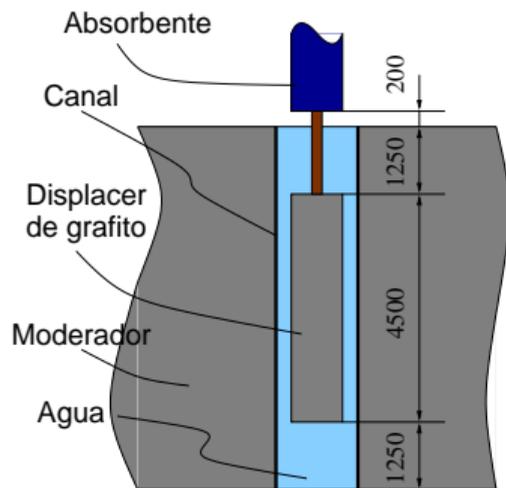
Impacto

Dosis

Resumen

# The devil is in the details

## Detalle II: las barras de control



- Displacer de grafito para disminuir absorciones y homogeneizar flujo
- Poco gap entre el displacer y el canal (eje horizontal no a escala)
- Velocidad de scram 0.4 m/s
- Inserción total 18 segs

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



## 1 La central

Características generales

Ubicación geográfica

## 2 El reactor

El reactor RBMK-1000

Detalles

## 3 El accidente

Secuencia temporal

¿Por qué?

## 4 Consecuencias

Personas involucradas

Impacto en el público

Dosis

## 5 Resumen



La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Ante la falta de alimentación eléctrica, los generadores eléctricos deben poder abastecer las bombas del Emergency Core Cooling System (ECCS) durante 40-50 segundos hasta que entren en operación los generadores Diesel.
- El 25 de abril de 1986 el reactor número 4 de la central Chernobyl tenía prevista una parada para mantenimiento.
- Se dispuso un ensayo para probar un nuevo sistema de regulación de tensión en los generadores sin alimentación a turbina.
- La carga eléctrica de la bomba del ECCS se iba a simular alimentando con una configuración diferente de las bombas del primario con la potencia del reactor reducida.

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Reducción de potencia hasta 700–1000 MW(th)
- Bloqueo del ECCS para prevenir disparos espurios
- Reconfiguración de la alimentación de las bombas del primario
  - En operación normal se utilizan 3 bombas de 4 en cada loop
  - Para simular la carga eléctrica del ECCS en el ensayo se utilizarían las 8 bombas
  - 4 alimentadas por el servicio eléctrico de la central
  - Las 4 restantes por el turbogenerador
- Trip de turbina
- Ensayo eléctrico
- Repetición si fuera necesario
- Trip de reactor

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- La secuencia completa de eventos fue reconstruida en los años siguientes al accidente por una comisión de expertos soviéticos (y chequeada luego en occidente) a partir de
  - registros de instrumentación
  - cálculos neutrónicos y termohidráulicos
  - logs de operación

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



25 de abril de 1986

- 01:06** Comienzo de la reducción de la potencia del reactor en forma lenta para reducir los efectos del envenenamiento por  $^{135}\text{Xe}$ .
- 03:47** La potencia térmica es 1600 MW.
- 13:05** Estabilización de la potencia al 50%. Desconexión un turbogenerador.
- 14:00** Desconexión del ECCS.
- 14:05** El despacho de carga en Kiev solicita que se interrumpa la disminución de potencia.
- 18:50** Todo el equipamiento auxiliar que no interviene en el ensayo se conecta al transformador de entrada de la planta.
- 23:10** Continuación de la disminución de potencia hacia el nivel objetivo de 700-1000 MW(th).

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



26 de abril de 1986

- 00:05 La potencia térmica es 720 MW.
- 00:28 Por error del operador o por falla del sistema (?) la potencia cae a 0-30 MW(t) (?). Se toman medidas para incrementar la potencia, aparecen inestabilidades y envenenamiento con xenón.
- 00:43 El personal bloquea la señal de scram por trip del generador, para permitir la repetición de la prueba.
- 01:03 El operador logra estabilizar la potencia en 200 MW(th).
- 01:03 La séptima bomba principal alimentada por la red se conecta a uno de los loops del primario. Disminuye la reactividad por colapso de burbujas y se retiran más barras de control.
- 01:07 La bomba restante también alimentada por la red se conecta al otro lazo. El caudal en algunas bombas sobrepasa el valor permitido.

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- 01:19 El agua de alimentación que entra en el sistema supera el ritmo de vaporización. Aumento del nivel de agua en los separadores y descenso de presión de vapor.
- 01:22 El operador disminuye el flujo de caudal del primario. El nivel de agua se estabiliza, pero el flujo es 2/3 del nominal. El margen de reactividad de reserva es la mitad del mínimo permitido para operar.
- 01:23:00 La potencia del reactor es de 200 MW(t)—en lugar de los 700 MW(t) objetivo—donde tanto el coeficiente vacío como el de potencia son ambos **positivos**.
- 01:23:04 Comienza el ensayo. Se bloquea la alimentación a la turbina.
- 01:23:10 Aumenta la presión en el primario. Disminuye la fracción de vacío y las barras automáticas se retiran para compensar la reactividad negativa.

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- 01:23:21 Debido a la reducción del caudal por la desaceleración de 4 bombas aumenta la fracción de vacío, aumenta la reactividad y las barras vuelven a insertarse lentamente.
- 01:23:21 Sin embargo, las barras de control ya no pueden equilibrar la reactividad positiva y la potencia del reactor comienza a subir ( $0 < \rho < \beta$ ).
- 01:23:40 Ante el aumento de potencia el operador dispara el scram.
- 01:23:43 Alarmas por alta potencia y período corto. DNB  $\Rightarrow$  aumento brusco de la temperatura del combustible.
- 01:23:44 Rápido aumento de la potencia. Prompt-supercritical (?).

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- En tres segundos la potencia aumenta a 530 MW(th)
- En algunos puntos se llega a generar  $\sim 100$  veces la potencia nominal
- El factor de pico pasa de  $\sim 1.5$  a  $\sim 5$

## La central

Descripción

Ubicación

## El reactor

Diseño

Detalles

## El accidente

Eventos

¿Por qué?

## El después

Personas

Impacto

Dosis

## Resumen



- En tres segundos la potencia aumenta a 530 MW(th)
- En algunos puntos se llega a generar  $\sim 100$  veces la potencia nominal
- El factor de pico pasa de  $\sim 1.5$  a  $\sim 5$
- Se oxida y se funde el cladding de Zr-Nb
- Los pellets de  $\text{UO}_2$  se calientan y se rompen
- La presión de vapor provoca una explosión que rompe los canales en cascada y levanta la protección biológica de 450 toneladas

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- En tres segundos la potencia aumenta a 530 MW(th)
- En algunos puntos se llega a generar  $\sim 100$  veces la potencia nominal
- El factor de pico pasa de  $\sim 1.5$  a  $\sim 5$
- Se oxida y se funde el cladding de Zr-Nb
- Los pellets de  $\text{UO}_2$  se calientan y se rompen
- La presión de vapor provoca una explosión que rompe los canales en cascada y levanta la protección biológica de 450 toneladas
- El hidrógeno liberado provoca otra explosión que expulsa los bloques de grafito a la nave del reactor
- El grafito a alta temperatura entra en ignición y se dispersa en un radio de decenas de metros

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen

# ¿Por qué sucedió el accidente?



## La central

Descripción

Ubicación

## El reactor

Diseño

Detalles

## El accidente

Eventos

¿Por qué?

## El después

Personas

Impacto

Dosis

## Resumen

# ¿Por qué sucedió el accidente?



## Razones físicas

Es posible explicar el *por qué sucedió* en función de las condiciones neutrónicas y termohidráulicas en el momento del accidente con simulaciones y cálculos a partir de información de planta.

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen

# ¿Por qué sucedió el accidente?



## Razones físicas

Es posible explicar el *por qué sucedió* en función de las condiciones neutrónicas y termohidráulicas en el momento del accidente con simulaciones y cálculos a partir de información de planta.

## Razones humanas

Para analizar esto hay que tener en cuenta el régimen político en el contexto de la guerra fría, cultura del secreto, verticalismo riguroso, entrenamiento de personal, objetivos de diseño, etc. Las conclusiones serán más personales, pero conviene reflexionar sobre el tema.

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



Hay 13 escenarios propuestos (incluyendo sabotaje). Según expertos soviéticos, el único consistente con la información disponible es el siguiente:

- Al comenzar el ensayo, las condiciones eran tales que las barras de control no podían contrarrestar la reactividad positiva debida al coeficiente de vacío positivo.
- La potencia comenzó a aumentar ( $0 < \rho < \beta$ )
- El operador dio la orden de **scram**.

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

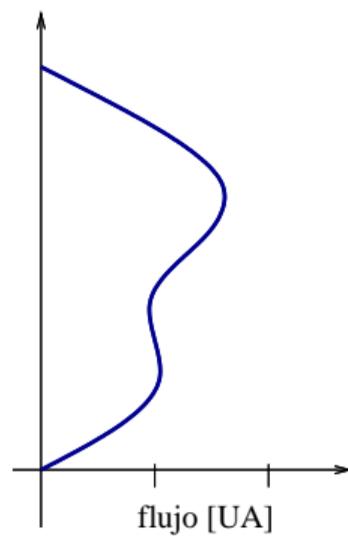
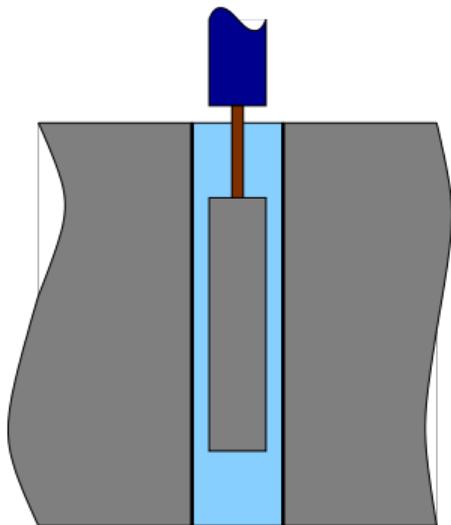
Impacto

Dosis

Resumen

# Causas físicas

¿Recuerda usted el detalle II?



La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

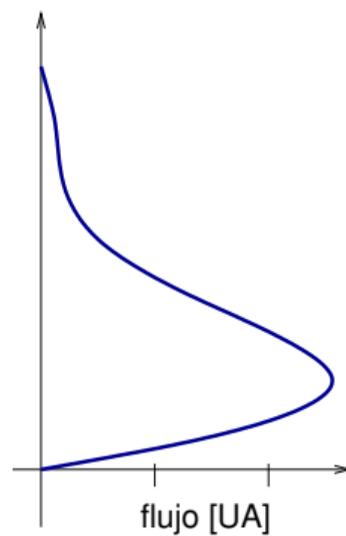
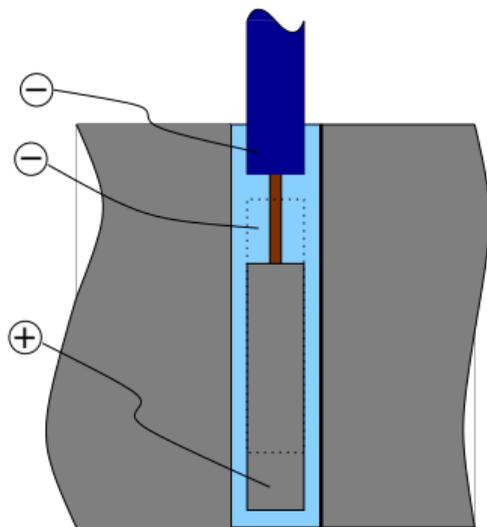
Impacto

Dosis

Resumen

# Causas físicas

¿Recuerda usted el detalle II?



La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Causas humanas  $\neq$  una persona, sino que se refiere al **sistema** como un todo
- Régimen comunista en un contexto de guerra fría
- Regulación legislativa deficiente
- Cultura de seguridad no internalizada
  - Violaciones de procedimiento
  - Apartamiento de la secuencia
  - Falta de comprensión del riesgo
  - Seguridad vs. contingencia
  - Diseño no inherentemente seguro
- Carencia del concepto de defensa en profundidad

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Operación del reactor
  - con el ORM por debajo del permitido
  - en régimen de potencia inestable
  - con un flujo de agua mayor que el permitido
- Bloqueo de señales de scram
  - por nivel de agua y presión en separadores
  - por salida de servicio de ambos generadores
- Desconexión del ECCS
- No era la primera vez que se realizaba un ensayo de esta forma

## Aclaración

Algunas acciones que los operadores tomaron no estaban estrictamente prohibidas por la legislación o los procedimientos operativos.

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



## 1 La central

Características generales

Ubicación geográfica

## 2 El reactor

El reactor RBMK-1000

Detalles

## 3 El accidente

Secuencia temporal

¿Por qué?

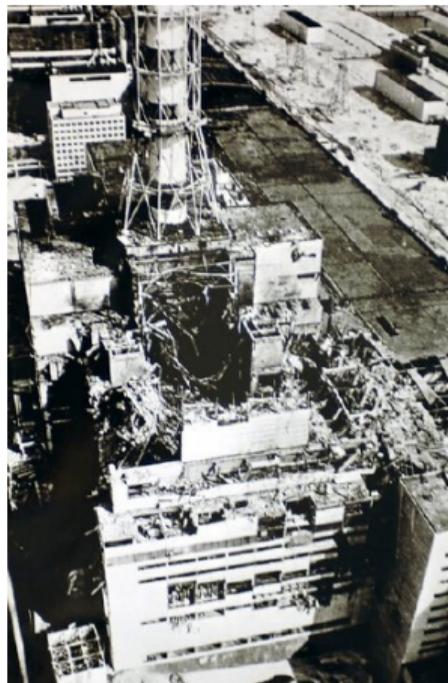
## 4 Consecuencias

Personas involucradas

Impacto en el público

Dosis

## 5 Resumen



La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- 2 operadores murieron instantáneamente por alta dosis
- 1 operario murió atrapado por los escombros
- 29 de los bomberos que acudieron en primera instancia a paliar el fuego murieron de síndrome agudo de radiación (2 a 20 Sv)
- Se estiman 4.000 casos de extra cáncer de tiroides en un grupo de 600.000 personas que recibieron dosis significativas, sobre 100.000 esperados normalmente
- En el resto de la población se calcula un aumento de menos del 1% en muertes por cáncer (la media natural está entre 20% y 25%)
- 350.000 personas trabajaron en la mitigación del accidente, posteriormente llamados “liquidadores”

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Ningún miembro del público recibió niveles de dosis letales
- Evacuación
  - El 27 de abril fueron evacuados los 45.000 habitantes de la ciudad de Pripyat
  - En los días posteriores 90.000 personas de poblaciones ubicadas en un radio de 30 km alrededor de la planta
  - En 1986 116.000 fueron evacuadas y 220.000 reubicadas en años posteriores
- Luego del accidente el fuego tardó 10 días en ser sofocado completamente

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

**Impacto**

Dosis

Resumen



- 5.000.000 de personas fueron clasificadas como “contaminadas” → expuestas a una densidad de actividad  $> 37\text{kBq/m}^2$  de  $^{137}\text{Cs}$  → 10 a 20 mSv / año
- En las zonas más contaminadas →  $> 555\text{kBq/m}^2$  de  $^{137}\text{Cs}$ , vivían 400.000 personas
- Durante años posteriores los “liquidadores” trabajaron en la mitigación durante pequeños períodos de tiempo, recibiendo algunos más de 500 mSv, con un promedio de 100 mSv
- La dosis efectiva promedio de las personas evacuadas se calcula en 33 mSv
- La dosis efectiva acumulada entre 1986 y 2005 es del orden de 50 mSv dentro de la zona controlada (30 km a la redonda) y entre 10 y 30 mSv fuera de ella

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

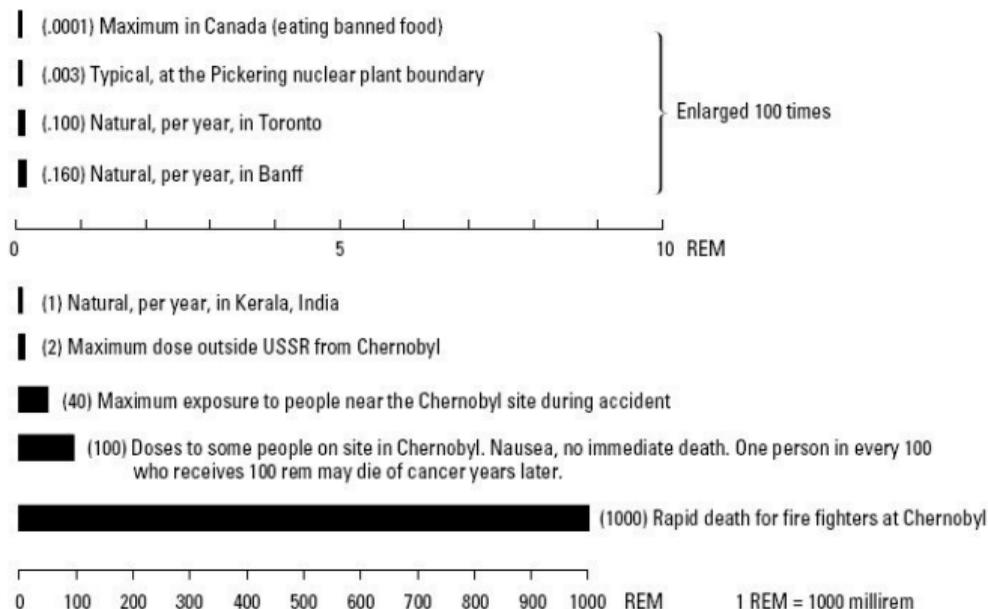
El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



## Summary of average accumulated doses to affected populations from Chernobyl fallout

Population category	Number	Average dose (mSv)
Liquidators (1986–1989)	600 000	~100
Evacuees from highly-contaminated zone (1986)	116 000	33
Residents of “strict-control” zones (1986–2005)	270 000	>50
Residents of other ‘contaminated’ areas (1986–2005)	5 000 000	10–20

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

**Dosis**

Resumen



- Estudios epidemiológicos en poblaciones expuestas a una intensa radiación (Hiroshima - Nagasaki) mostraron incrementos en las tasas de cáncer y leucemia
- Sin embargo, en las 5.000.000 de personas afectadas la dosis es tan baja que no hay suficiente estadística para poder detectar una variación en las tasas naturales
- Se esperaría un leve incremento pero no se podría cuantificar. No se disponen de datos fehacientes que daten de antes del accidente, y han mejorado notablemente las condiciones sanitarias en la zona.
- La dosis en tiroides en la población de Prypiat fue reducida por la distribución de pastillas de yodo en las primeras 30 horas.

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

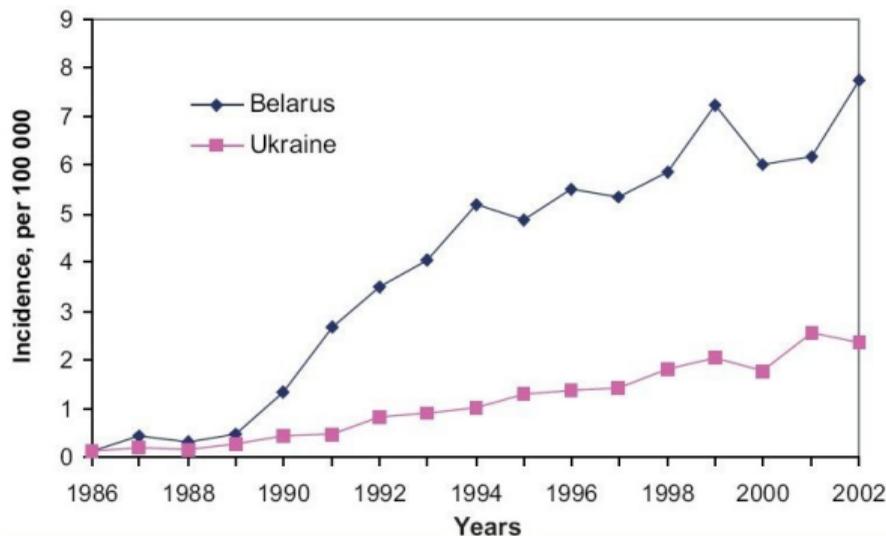
Impacto

Dosis

Resumen



- Los niños fueron el segmento de la población más afectado por el cáncer de tiroides debido a la incorporación de  $^{131}\text{I}$  en leche vacuna.
- Se han reportado 1.800 casos de cáncer de tiroides en niños que tenían menos de 14 años en 1986





- Cantidad de muertes por año en USA sólo por la liberación de CO<sub>2</sub> en la generación eléctrica quemando combustibles fósiles: 30.000

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Cantidad de muertes por año en USA sólo por la liberación de CO<sub>2</sub> en la generación eléctrica quemando combustibles fósiles: 30.000
- Cantidad de muertes por año en Argentina debida a accidentes de tránsito: 10.000

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Cantidad de muertes por año en USA sólo por la liberación de CO<sub>2</sub> en la generación eléctrica quemando combustibles fósiles: 30.000
- Cantidad de muertes por año en Argentina debida a accidentes de tránsito: 10.000
- Cantidad de muertes en el accidente de Union Carbide en Bophal, India en 1984: 2.500 (estimación por defecto)

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Cantidad de muertes por año en USA sólo por la liberación de CO<sub>2</sub> en la generación eléctrica quemando combustibles fósiles: 30.000
- Cantidad de muertes por año en Argentina debida a accidentes de tránsito: 10.000
- Cantidad de muertes en el accidente de Union Carbide en Bophal, India en 1984: 2.500 (estimación por defecto)
- Impacto del accidente de TMI, Pennsylvania en 1979: 1 extra cáncer en 1.000.000 de habitantes (tasa natural 250.000)

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen



- Severo accidente durante un ensayo en la unidad 4 de la central de Chernobyl

## La central

Descripción

Ubicación

## El reactor

Diseño

Detalles

## El accidente

Eventos

¿Por qué?

## El después

Personas

Impacto

Dosis

## Resumen



- Severo accidente durante un ensayo en la unidad 4 de la central de Chernobyl
- ¿Por qué sucedió el accidente?

## La central

Descripción

Ubicación

## El reactor

Diseño

Detalles

## El accidente

Eventos

¿Por qué?

## El después

Personas

Impacto

Dosis

## Resumen



- Severo accidente durante un ensayo en la unidad 4 de la central de Chernobyl
- ¿Por qué sucedió el accidente?
  - Razones físicas
  - Razones humanas

## La central

Descripción

Ubicación

## El reactor

Diseño

Detalles

## El accidente

Eventos

¿Por qué?

## El después

Personas

Impacto

Dosis

## Resumen



- Severo accidente durante un ensayo en la unidad 4 de la central de Chernobyl
- ¿Por qué sucedió el accidente?
  - Razones físicas
  - Razones humanas
- Consecuencias
  - 32 muertes instantáneas
  - Aumento en la tasa de cáncer de tiroides en niños
  - Evacuación de 300.000 personas
  - Gran impacto en la industria nuclear

## La central

Descripción

Ubicación

## El reactor

Diseño

Detalles

## El accidente

Eventos

¿Por qué?

## El después

Personas

Impacto

Dosis

## Resumen



¿Preguntas?

La central

Descripción

Ubicación

El reactor

Diseño

Detalles

El accidente

Eventos

¿Por qué?

El después

Personas

Impacto

Dosis

Resumen





Summary Report on the Post-accident Review Meeting on the Chernobyl Accident  
INSAG Series No. 1  
IAEA Safety Reports, 1987



The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1  
INSAG Series No. 7  
IAEA Safety Reports, 1992



Nuclear Reactor Analysis  
J. Duderstadt and L. Hamilton  
John Wiley and Sons, 1976



Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes  
World Health Organization  
Geneva, 2006



Causes and Circumstances of the Accident at Unit 4 of the Chernobyl Nuclear Power Plant  
Commission to the USSR State Committee for the Supervision of Safety in Industry and Nuclear Power  
Moscow, 1991



Chernobyl - A Canadian Perspective  
Dr. V.G. Snell and J.Q. Howieson  
AECL, 1991



Apuntes de clase, Seguridad y Diseño  
Dr. Marcelo Giménez  
Instituto Balseiro, 2006