

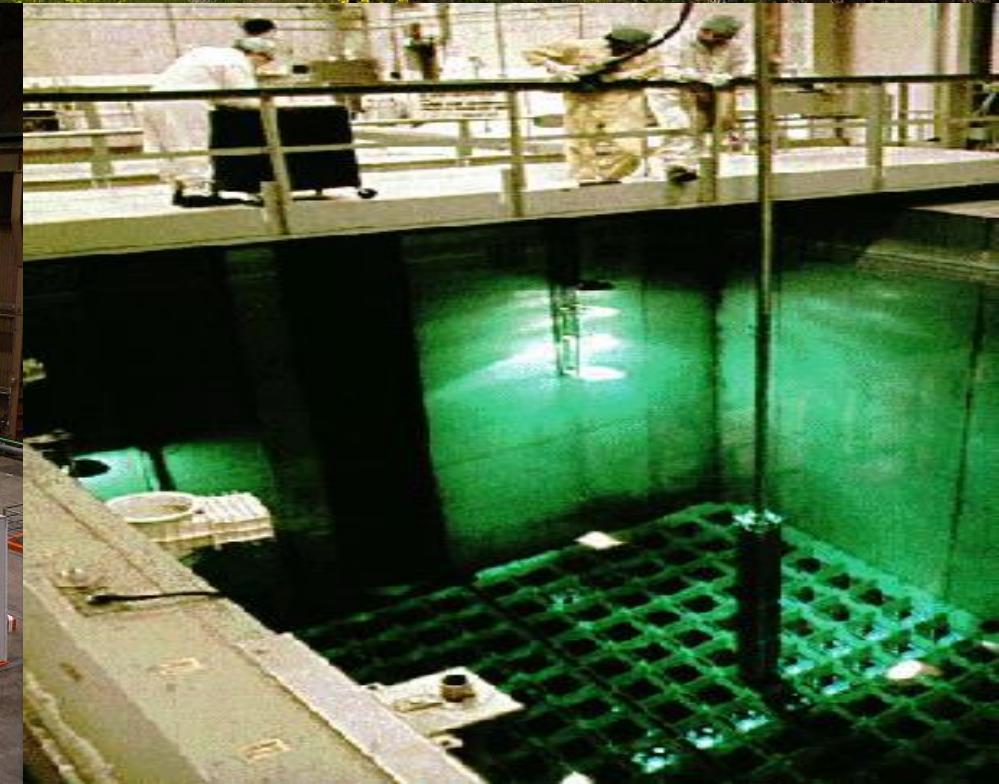
Aplicaciones Nucleares

Universidad Tecnológica Metropolitana

Introducción a la Física Nuclear

21 - Abril - 2020

**Dr. Rafael Correa Devés
Departamento de Física - UTEM**





Hiroshima

6 de Agosto - 1945

A photograph of a large-scale nuclear explosion. A massive, luminous fireball dominates the center, with a dense, dark smoke column rising from its core. The surrounding atmosphere is filled with a bright orange glow, transitioning into darker shades of yellow and then into deep shadows of night. The foreground is dark and appears to be a flat, possibly sandy or rocky surface.

**“Licorne” test in
French Polynesia 1970,
(France)**

TEMAS

I. Principios Físicos Básicos de los Reactores Nucleares

II. Energía Nuclear en el Mundo y Europa

III. Energía Nuclear en América Latina

IV. Energía en Chile

V. Energía Nuclear en Chile. Razones para una Decisión

VI. Energía Nuclear en Chile. Acciones y Desafíos Futuros

Nuclear Sciences and Applications

Food and Agriculture

Human Health

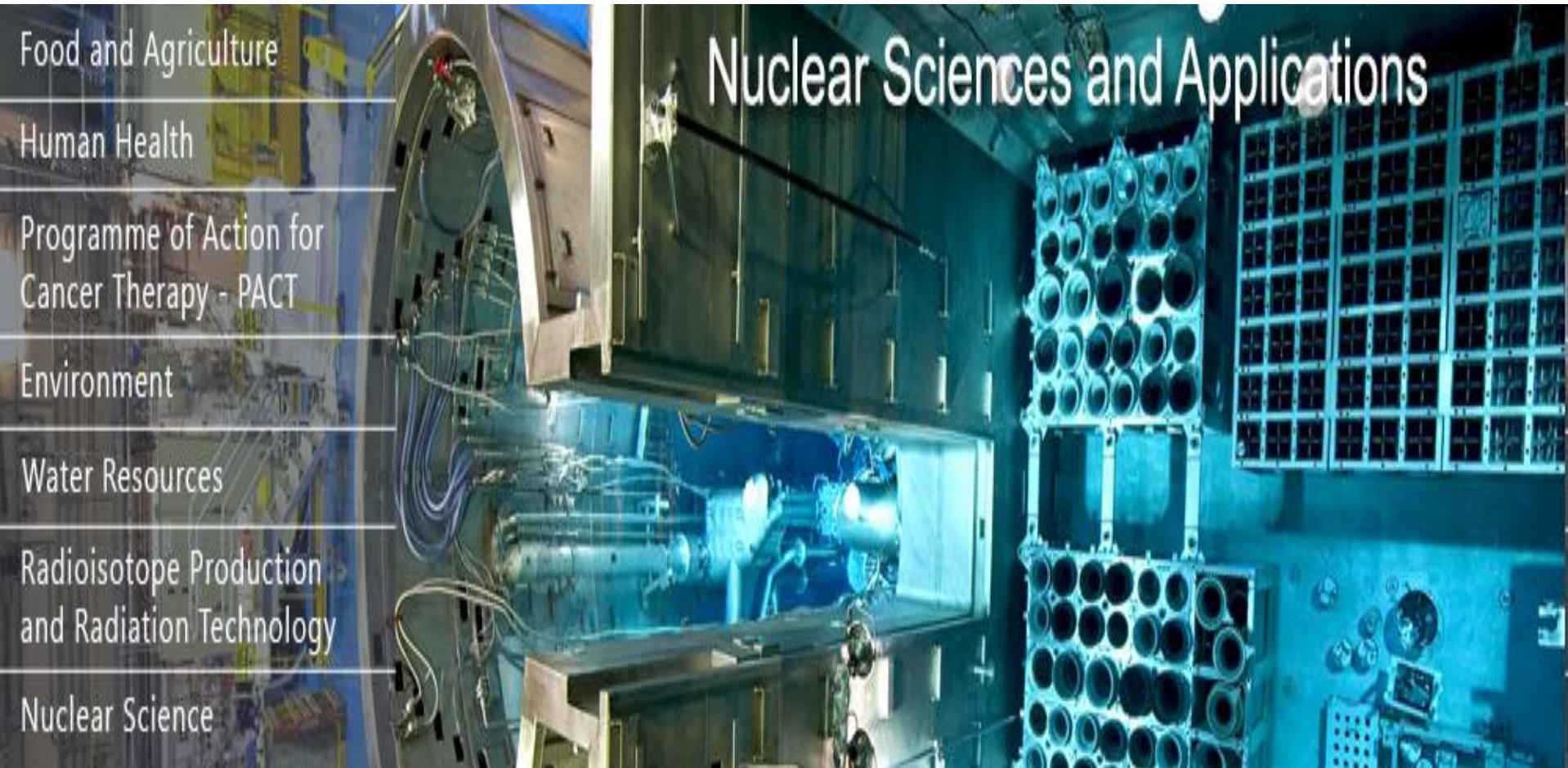
Programme of Action for
Cancer Therapy - PACT

Environment

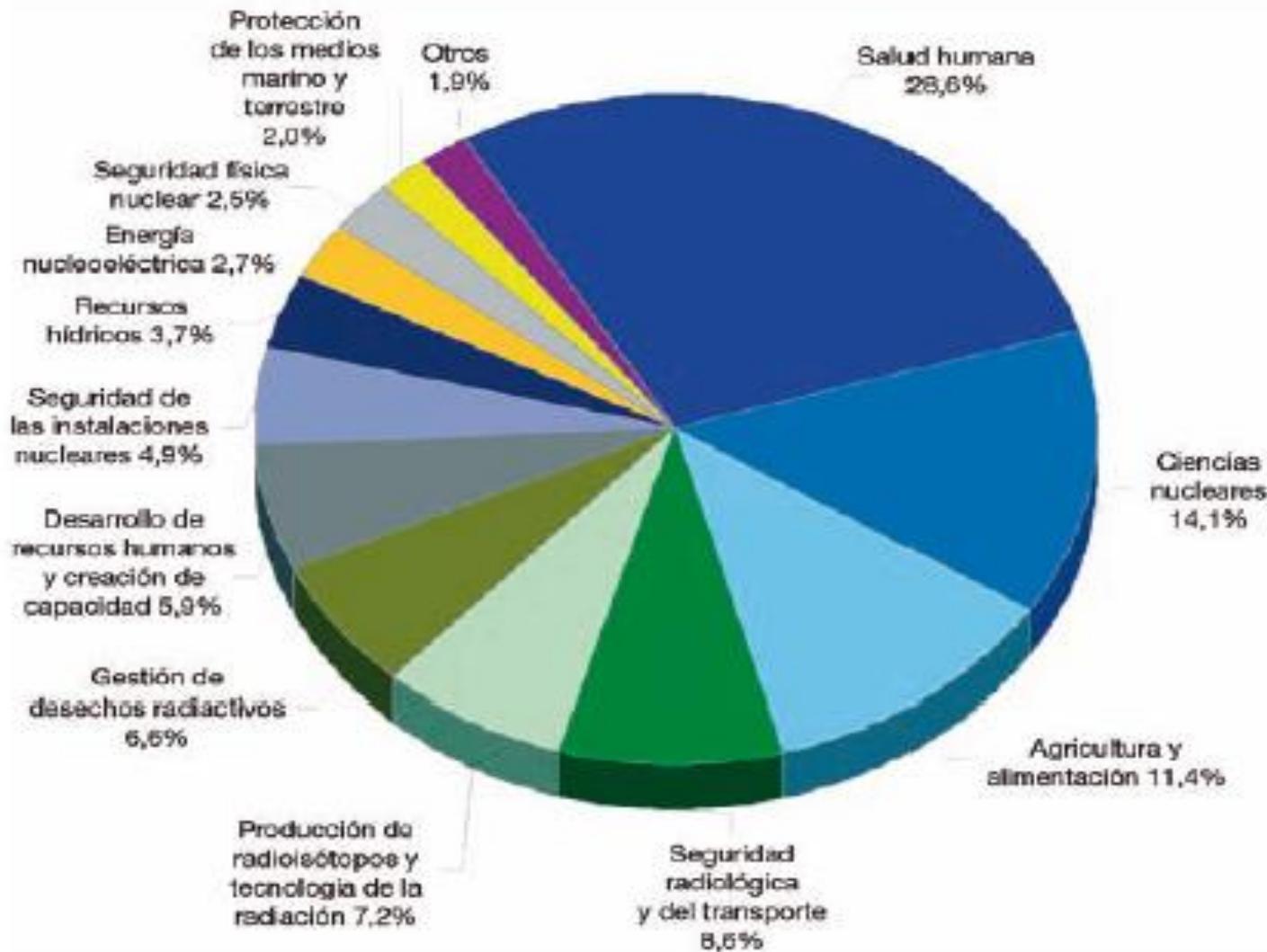
Water Resources

Radioisotope Production
and Radiation Technology

Nuclear Science



Aplicaciones Nucleares



¿ Dónde se utiliza la radiación ?



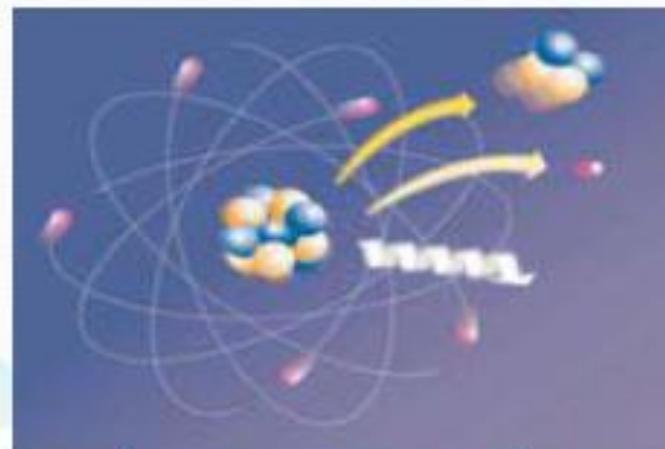
Investigación

- Nutrición
- Genética
- Biología Molecular
- Química



Medicina

- Imagenología
- Diagnóstico enfermedades
- Terapia (cáncer, artritis, etc.)



RADIACIÓN

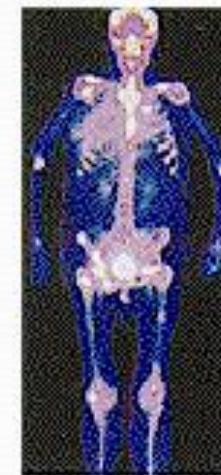
Electricidad

- Generación

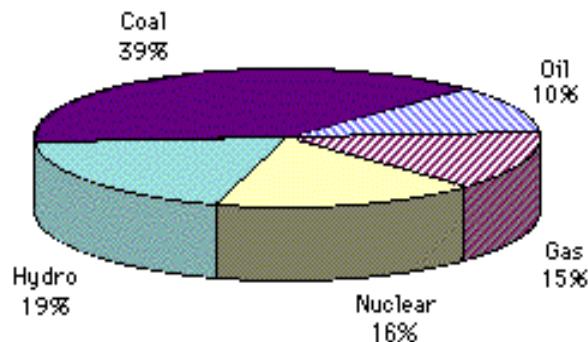


Industria

- Radiotrazadores
- Radiografía industrial
- Esterilización
- Control de procesos



World Electricity Generation



U.S. Electricity Production Costs 1995-2005 (Averages in 2005 cents per kilowatt-hour)



Emisión de CO₂

| Fuente | CO ₂ liberado (por cada 1000 MWh) |
|-------------|--|
| Carbón | 940 t |
| Petróleo | 798 t |
| Gas Natural | 581 t |
| Nuclear | 0 |



Durante 2005, los 2.6 M de GWh generados por la EN evitaron la Emisión de más de 2 mil millones de toneladas de CO₂

Calculados con factores de emisión del Clean Development Mechanism en <http://www.cd4cdm.org/>

Nuclear Reactions

Fission

- 1942 - Enrico Fermi y Leó Szilárd, en la Universidad de Chicago fueron los primeros en construir una pila nuclear y lograr una reacción nuclear en cadena bajo condiciones de control.
- 1950 - El 20 de Diciembre, energía nucleoeléctrica fue producida por primera vez en el Experimental Breeder Reactor-I (EBR-1) en la localidad de Arco, Idaho.
- 1954 - El 27 de Junio, la primera planta de energía termonuclear con propósitos comerciales fue puesta en operación en Obninsk, Kaluga Oblast, Russia. Otros de los primeros generadores de energía nuclear fueron: Calder Hall, England (1956), y el reactor de Shippingport, Pensylvania (1957).

Fission

When atoms are bombarded with neutrons, their nuclei splits into 2 parts which are roughly equal in size.

Nuclear fission is the process whereby a nucleus, with a high mass number, splits into 2 nuclei which have roughly equal smaller mass numbers.

During nuclear fission, neutrons are released.

Nuclear Fission

There are 2 types of fission that exist:

1. Spontaneous Fission
2. Induced Fission

Spontaneous Fission

Some radioisotopes contain nuclei which are highly unstable and decay spontaneously by splitting into 2 smaller nuclei.

Such spontaneous decays are accompanied by the release of neutrons.

Induced Fission

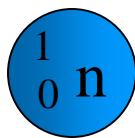
Nuclear fission can be induced by bombarding atoms with neutrons.

The nuclei of the atoms then split into 2 equal parts.

Induced fission decays are also accompanied by the release of neutrons.

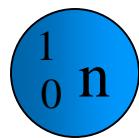
The Fission Process

A neutron travels at high speed towards a uranium-235 nucleus.



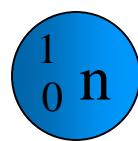
The Fission Process

A neutron travels at high speed towards a uranium-235 nucleus.



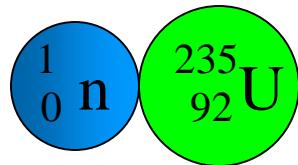
The Fission Process

A neutron travels at high speed towards a uranium-235 nucleus.



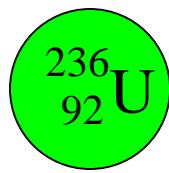
The Fission Process

The neutron strikes the nucleus which then captures the neutron.



The Fission Process

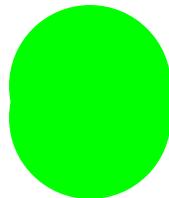
The nucleus changes from being uranium-235 to uranium-236 as it has captured a neutron.



The Fission Process

The uranium-236 nucleus formed is very unstable.

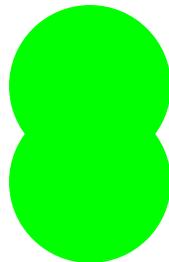
It transforms into an elongated shape for a short time.



The Fission Process

The uranium-236 nucleus formed is very unstable.

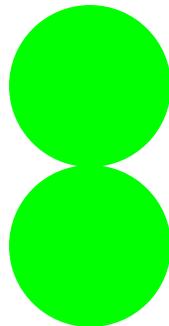
It transforms into an elongated shape for a short time.



The Fission Process

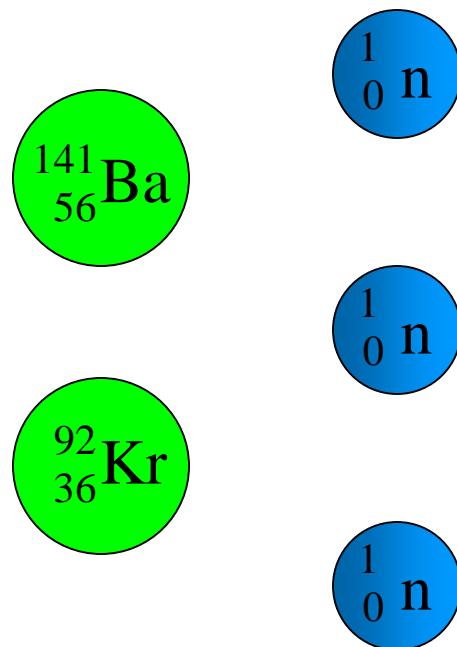
The uranium-236 nucleus formed is very unstable.

It transforms into an elongated shape for a short time.



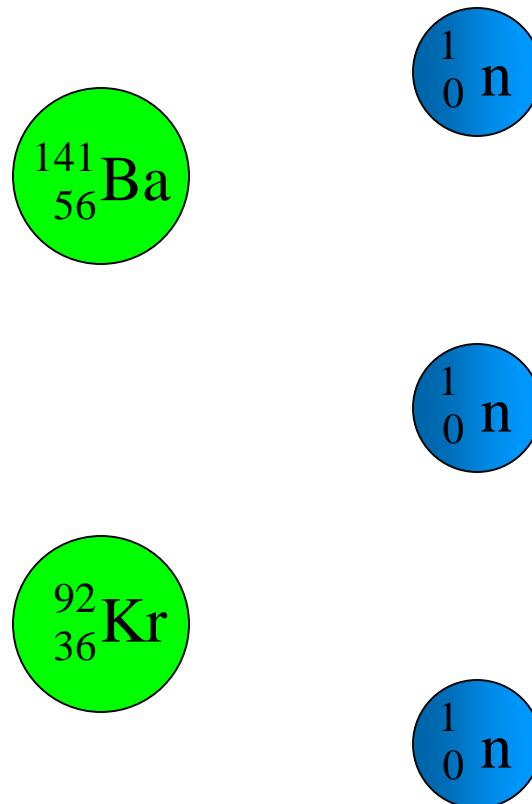
The Fission Process

It then splits into 2 fission fragments and releases neutrons.



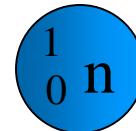
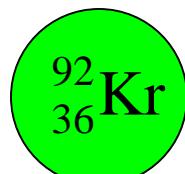
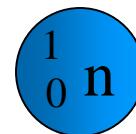
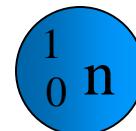
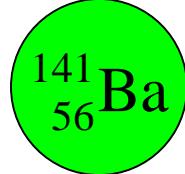
The Fission Process

It then splits into 2 fission fragments and releases neutrons.



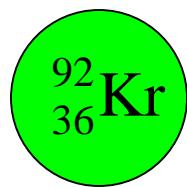
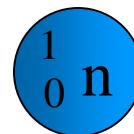
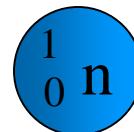
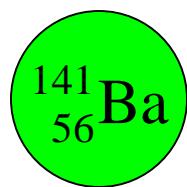
The Fission Process

It then splits into 2 fission fragments and releases neutrons.

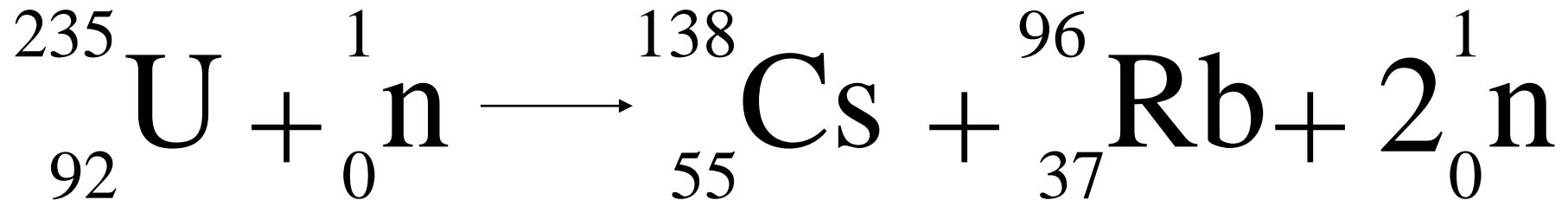


The Fission Process

It then splits into 2 fission fragments and releases neutrons.



Nuclear Fission Examples



Energy from Fission

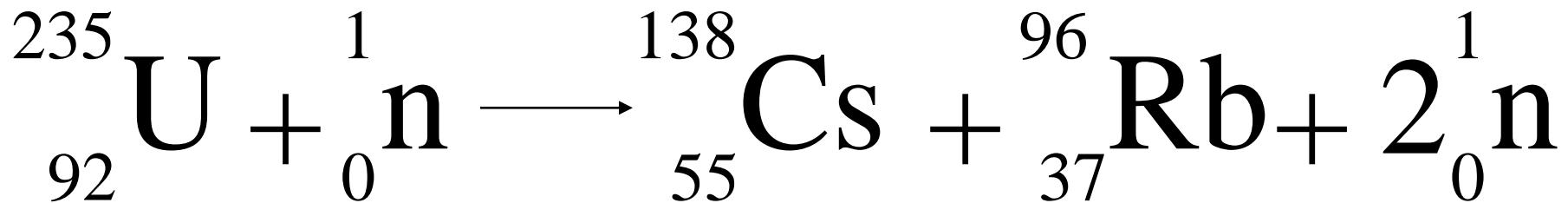
Both the fission fragments and neutrons travel at high speed.

The kinetic energy of the products of fission are far greater than that of the bombarding neutron and target atom.

$$E_K \text{ before fission} \ll E_K \text{ after fission}$$

Energy is being released as a result of the fission reaction.

Energy from Fission



| Element | Atomic Mass (kg) |
|------------------------|--------------------------|
| $^{235}_{92}\text{U}$ | 3.9014×10^{-25} |
| $^{138}_{55}\text{Cs}$ | 2.2895×10^{-25} |
| $^{96}_{37}\text{Rb}$ | 1.5925×10^{-25} |
| ${}^1_0\text{n}$ | 1.6750×10^{-27} |

Energy from Fission

Calculate the total mass before and after fission takes place.

The total mass before fission (LHS of the equation):

$$3.9014 \times 10^{-25} + 1.6750 \times 10^{-27} = \underline{3.91815 \times 10^{-25} \text{ kg}}$$

The total mass after fission (RHS of the equation):

$$2.2895 \times 10^{-25} + 1.5925 \times 10^{-25} + (2 \times 1.6750 \times 10^{-27}) = \underline{3.9155 \times 10^{-25} \text{ kg}}$$

Energy from Fission

*The total mass before fission = **3.91815 x 10⁻²⁵ kg***

*The total mass after fission = **3.91550 x 10⁻²⁵ kg***

total mass before fission > total mass after fission

Energy from Fission

mass difference, m = total mass before fission – total mass after fission

$$m = 3.91815 \times 10^{-25} - 3.91550 \times 10^{-25}$$

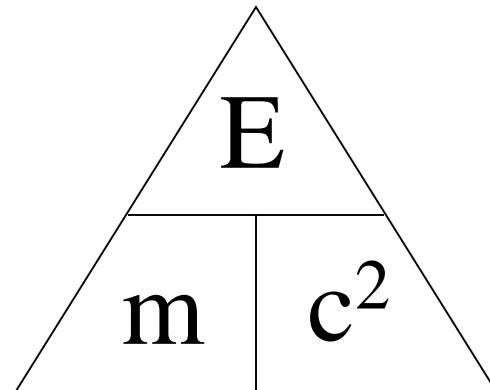
$$m = 2.65 \times 10^{-28} \text{ kg}$$

This reduction in mass results in the release of energy.

Energy Released

The energy released can be calculated using the equation:

$$E = mc^2$$



Where:

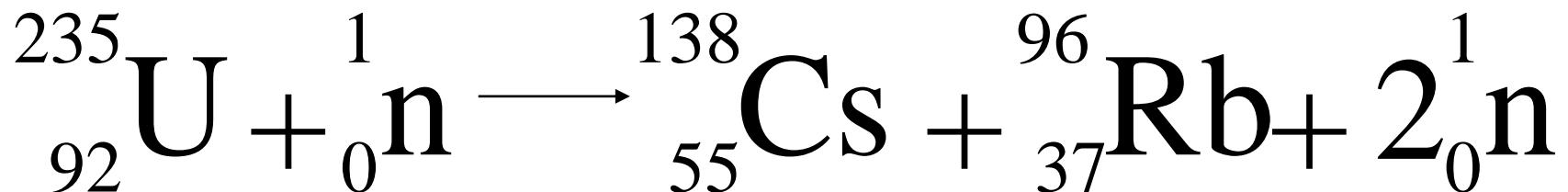
E = energy released (J)

m = mass difference (kg)

c = speed of light in a vacuum (3×10^8 ms⁻¹)

Energy from Fission

Calculate the energy released from the following fission reaction:



$$m = 2.65 \times 10^{-28} \text{ kg}$$

$$E = mc^2$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$E = 2.65 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^8)^2$$

$$E = E$$

$$\mathbf{E = 2.385 \times 10^{-11} J}$$

Energy from Fission

The energy released from this fission reaction does not seem a lot.

This is because it is produced from the fission of a single nucleus.

Large amounts of energy are released when a large number of nuclei undergo fission reactions.

Energy from Fission

Each uranium-235 atom has a mass of 3.9014×10^{-25} kg.

The total number of atoms in 1 kg of uranium-235 can be found as follows:

No. of atoms in 1 kg of uranium-235 = $1 / 3.9014 \times 10^{-25}$

No. of atoms in 1 kg of uranium-235 = 2.56×10^{24} atoms

Energy from Fission

If one uranium-235 atom undergoes a fission reaction and releases 2.385×10^{-11} J of energy, then the amount of energy released by 1 kg of uranium-235 can be calculated as follows:

$$\text{total energy} = \text{energy per fission} \times \text{number of atoms}$$

$$\text{total energy} = 2.385 \times 10^{-11} \times 2.56 \times 10^{24}$$

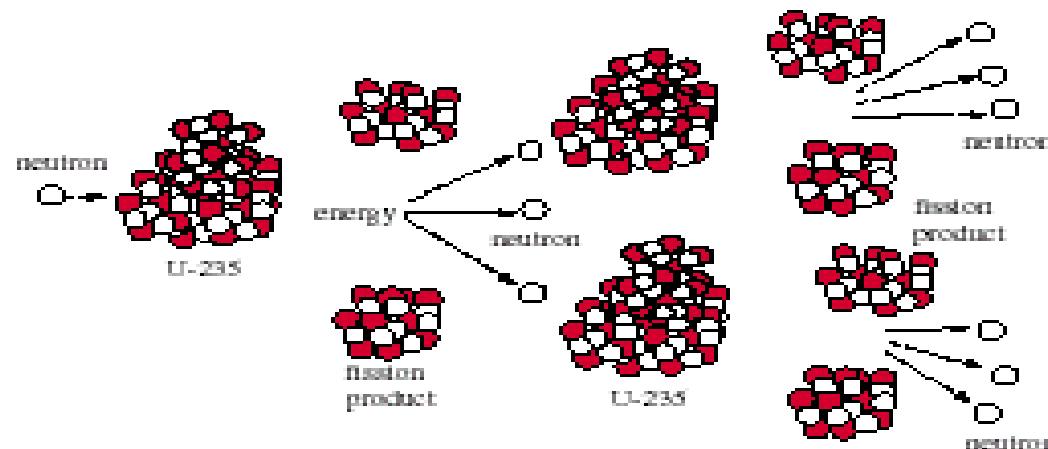
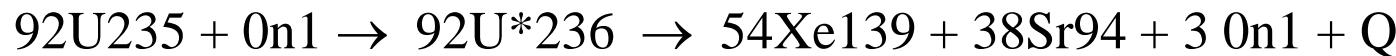
$$\text{total energy} = 6.1056 \times 10^{13} \text{ J}$$

I. Principios Físicos Básicos de los Reactores Nucleares

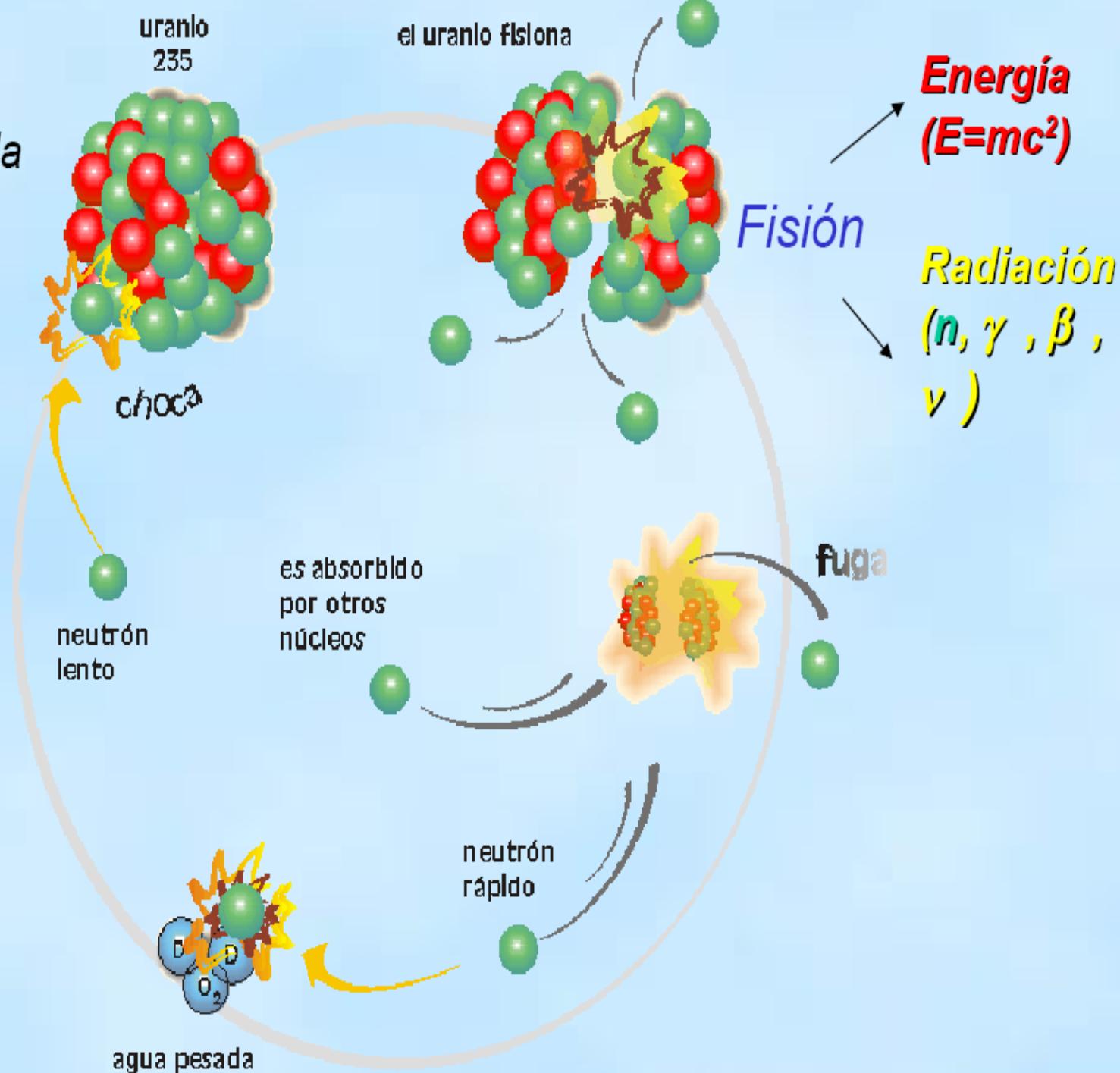
-Desde la década del 40 se desarrolla una profusa investigación sobre los usos de la energía nuclear.

-Principio de equivalencia de masa – energía está en la base de todo reactor: $E = mc^2$. Proceso típicos en el núcleo del reactor son:

- dispersión elástica
- captura de neutrón
- fisión



La cadena automantenida



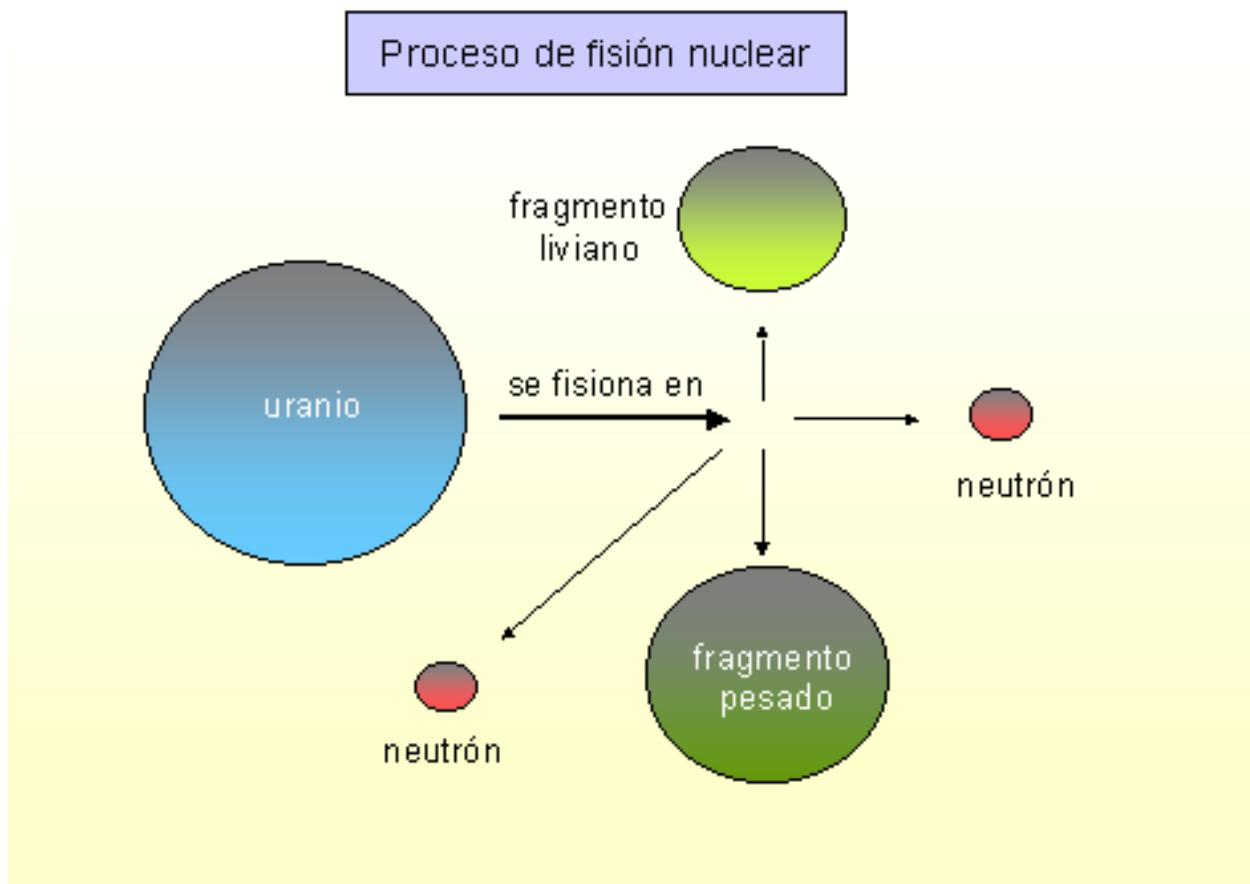
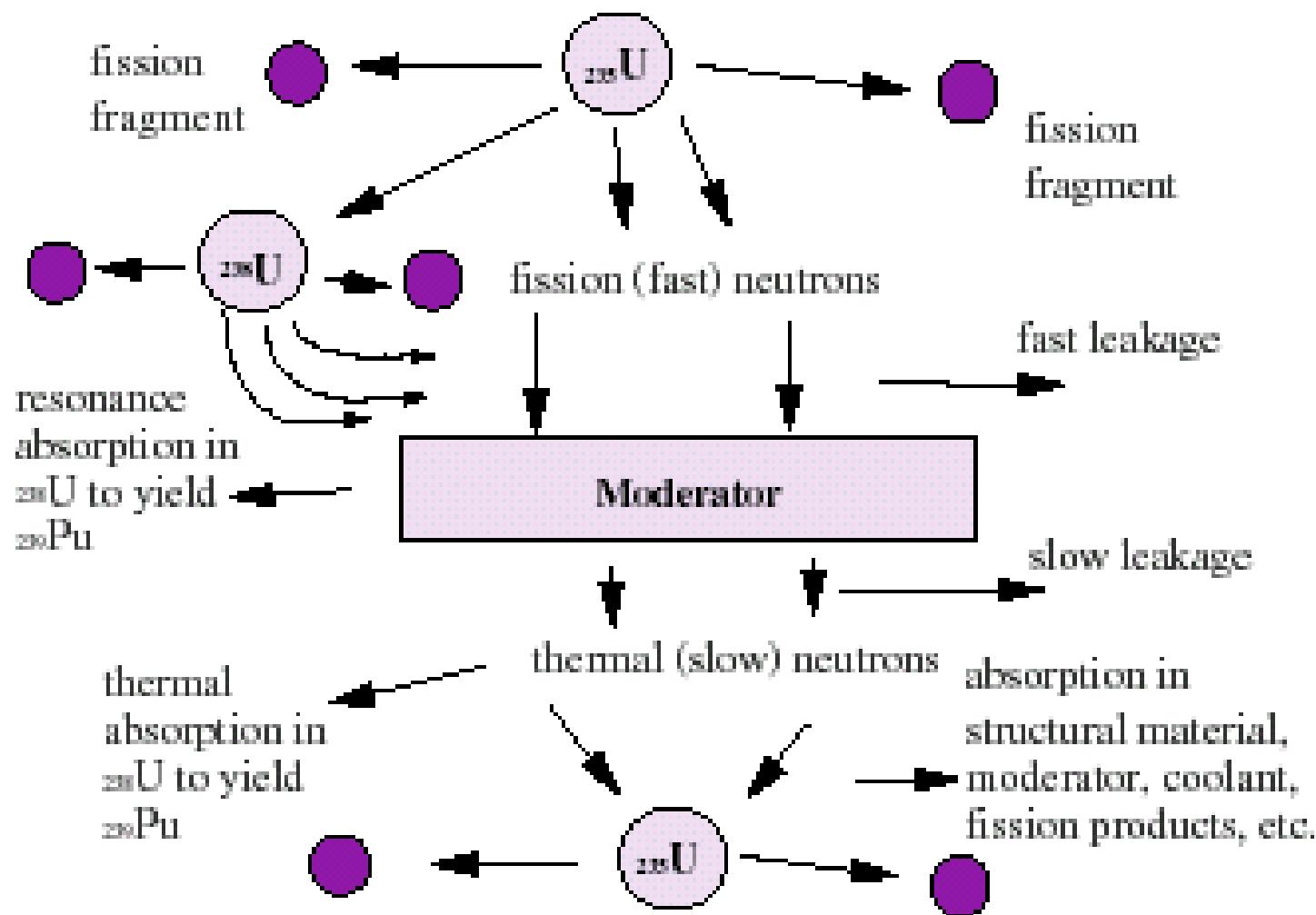


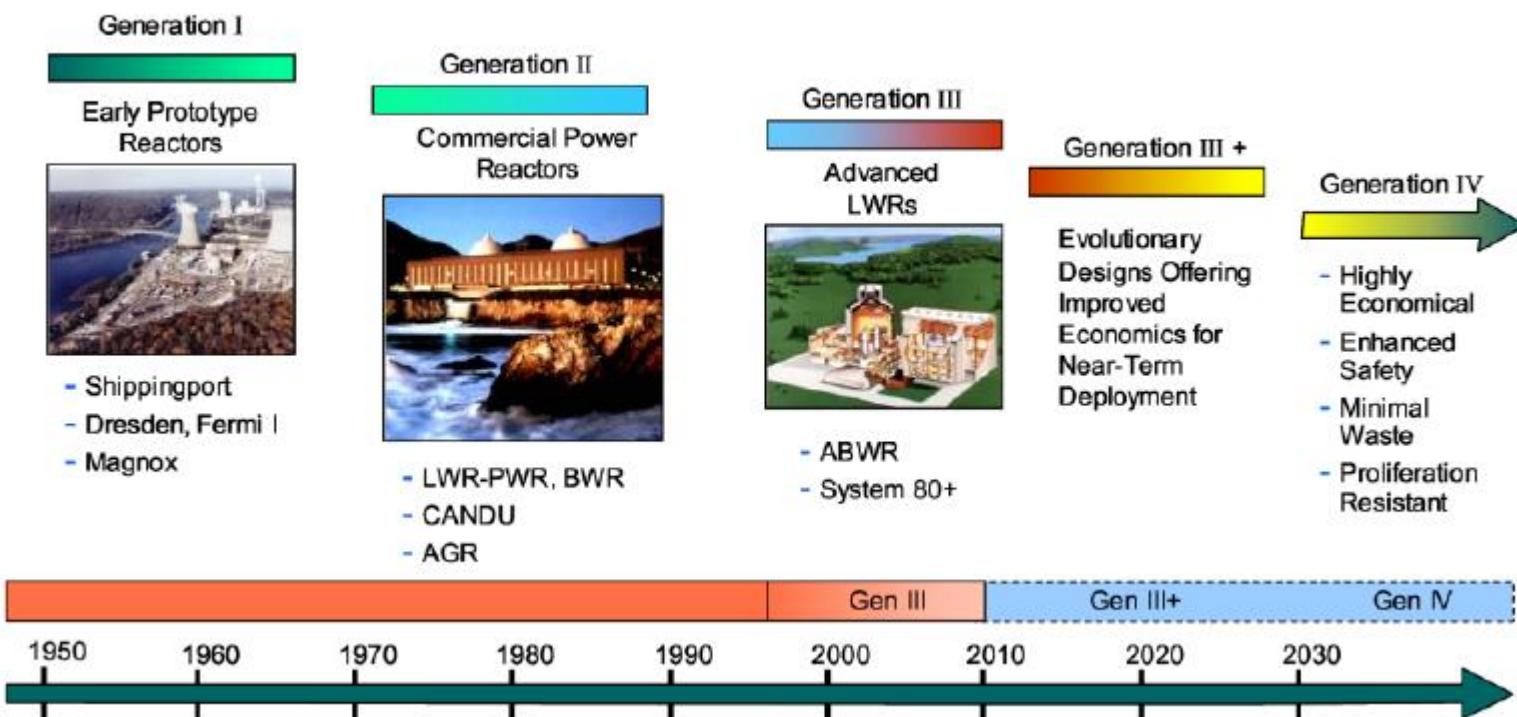
Figura 3: Los fragmentos de fisión del Urano se repelan alcanzando una gran energía cinética. Al frenarse entregan esa energía, calentando el material en el cual se frenan. Esta es la fuente energética de las centrales nucleares de potencia.

Ciclo Neutrónico



- 1942 - Enrico Fermi y Leó Szilárd, en la Universidad de Chicago fueron los primeros en construir una pila nuclear y lograr una reacción nuclear en cadena bajo condiciones de control.
- 1950 - El 20 de Diciembre, energía nucleoeléctrica fue producida por primera vez en el Experimental Breeder Reactor-I (EBR-1) en la localidad de Arco, Idaho.
- 1954 - El 27 de Junio, la primera planta de energía termonuclear con propósitos comerciales fue puesta en operación en Obninsk, Kaluga Oblast, Russia. Otros de los primeros generadores de energía nuclear fueron: Calder Hall, England (1956), y el reactor de Shippingport, Pensylvania (1957).

- Es el uso más difundido de los reactores de potencia
- Hay **443** plantas nucleares en operación, con una capacidad instalada de **369,728 GW(e)**
- Existen **24** plantas en construcción (Febrero 2006)
- Francia lidera el porcentaje de la energía nuclear con el **78 %** de la energía consumida. Estados Unidos tiene **20 %** y Argentina **8 %**



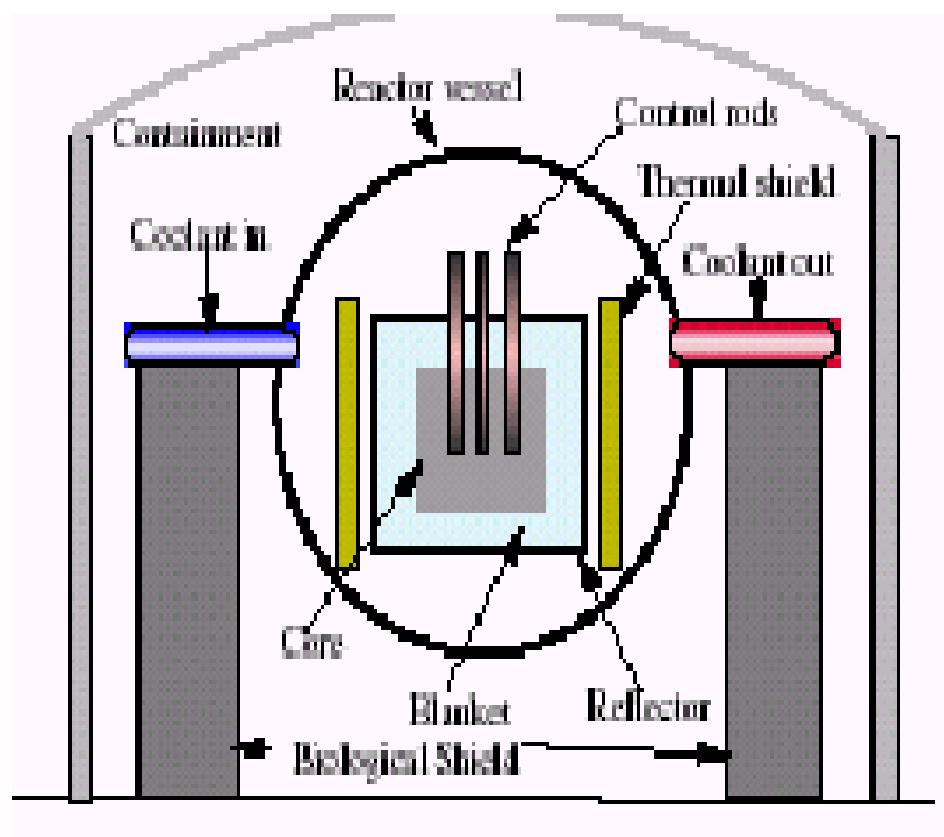
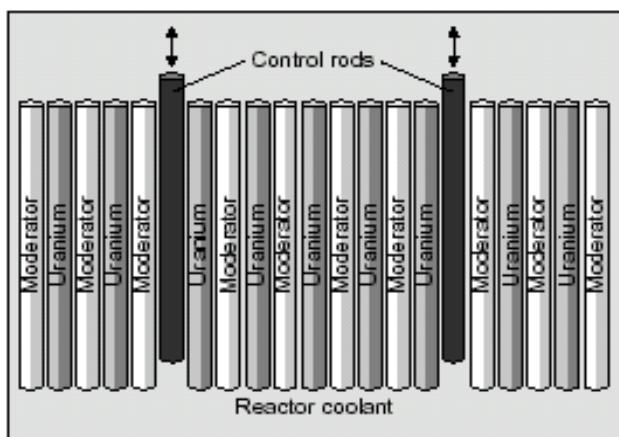
Los elementos centrales y comunes a la mayoría de los reactores son:

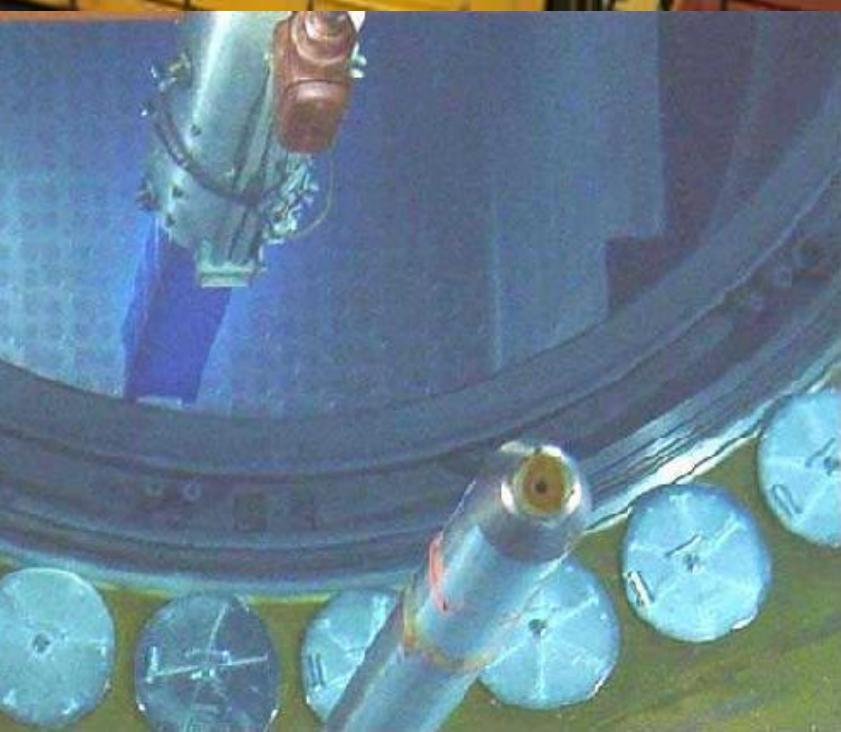
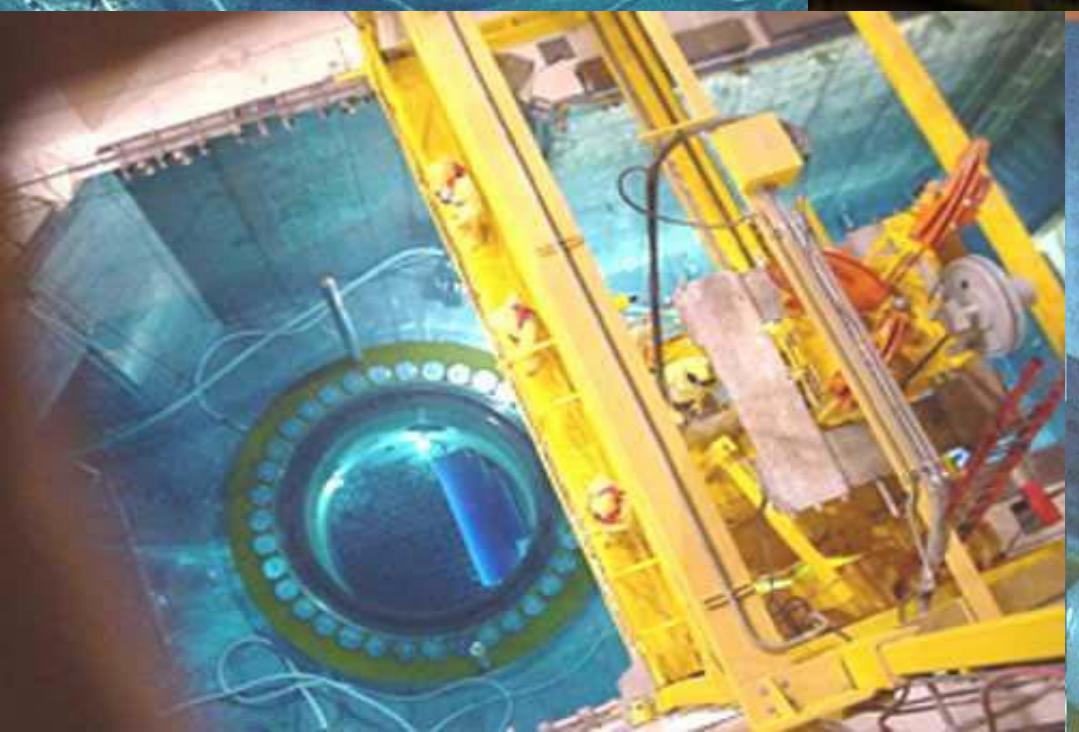
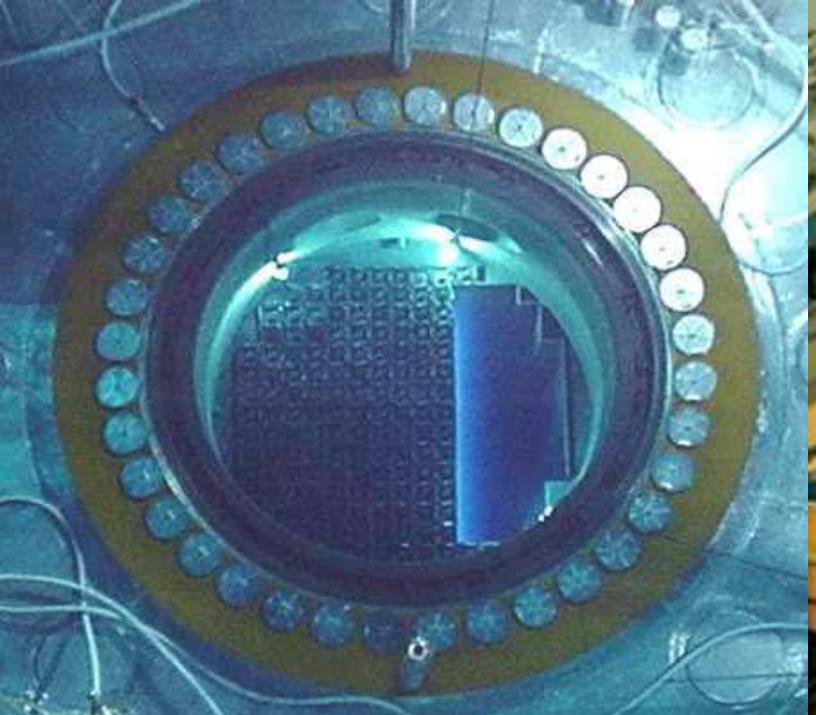
- Combustible y barras de combustible
- Núcleo del reactor
- Barras de control
- Moderador
- Material refrigerante
- Blindaje.

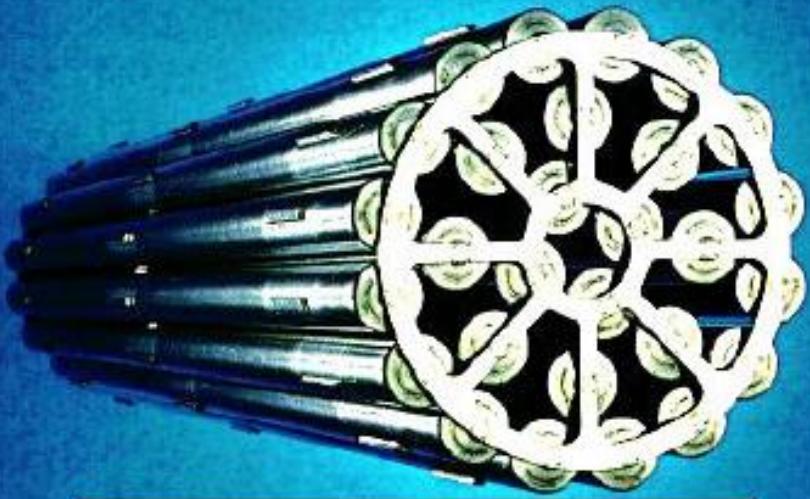
Tipos de Reactores:

Reactores de Investigación

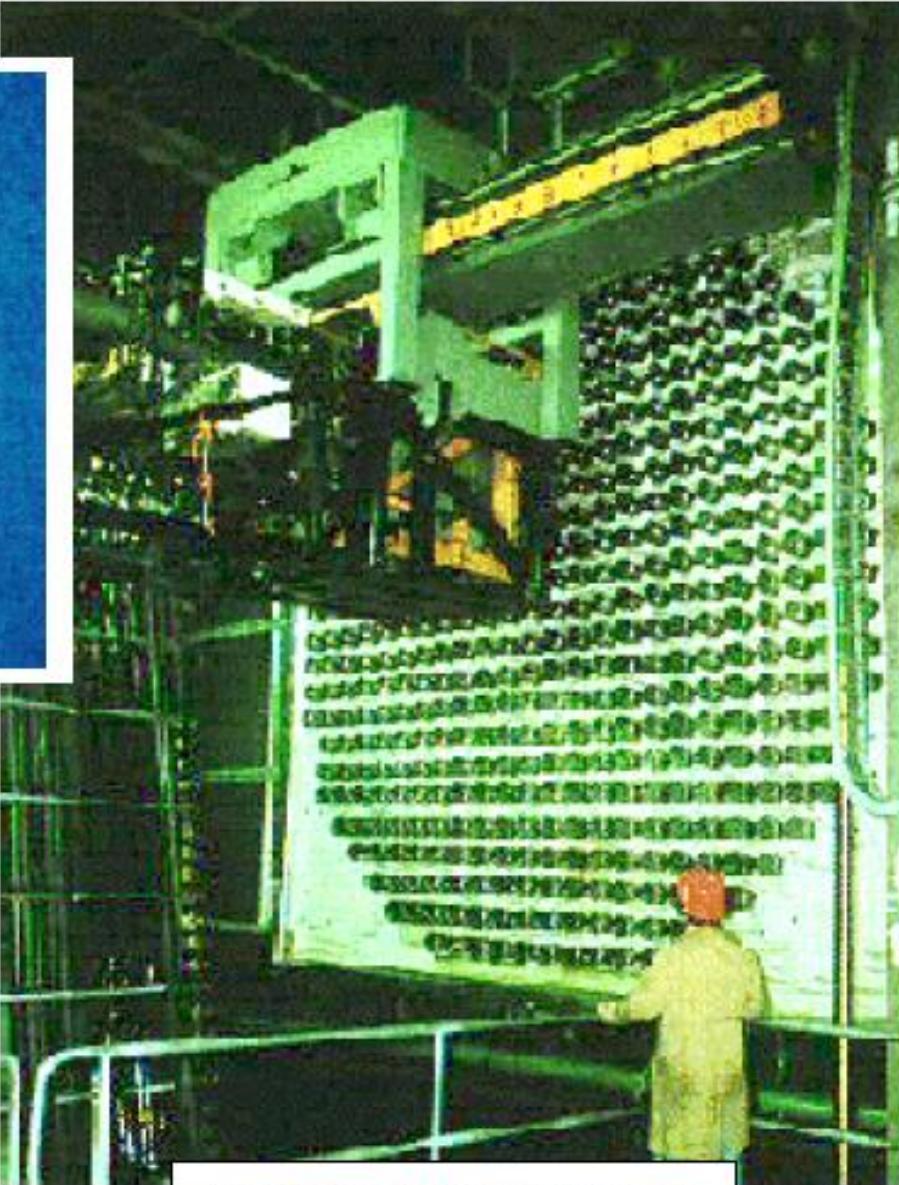
Reactores de Potencia (BWR, PWR)







Combustible CANDU



Máquina de recambio de
combustible

Tipos de Reactores

- Naturales
- Obsoletos en operación
 - **RBMK** - Russian Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalniy - Channelized Large Power Reactor
 - **AGR** - Advanced Gas-cooled reactor
- Actuales
 - **PWR** - Pressurised Water Reactor
 - **PHWR (CANDU)** - Pressurised Heavy Water Reactor
 - **BWR** - Boiling Water Reactor
 - **LMFBR** - Liquid Metal Fast Breeder Reactor
- Avanzados
 - **ABWR** - Advanced Boiling Water Reactor
 - **EPR** - European Pressurised Water Reactor



Según el *combustible* utilizado:

- Uranio natural
- Uranio enriquecido

Según el *moderador* utilizado:

- Agua común o liviana (H_2O)
- Agua pesada (D_2O)
- Grafito

Según la *velocidad* de los neutrones:

- Reactores rápidos
- Reactores térmicos (o lentos)

Según el *refrigerante* utilizado:

- Agua común o liviana (H_2O)
- Agua pesada (D_2O)
- Gases

PWR: Agua liviana a presión (Mod y Ref), Uenr.

BWR: Agua liviana en ebullición (Mod y Ref), Uenr.

PHWR: Agua pesada a presión (Mod y Ref), Unat o ULE (*Argentina*).

HTGR: Ref. He, Mod. grafito, Uenr.

FBR: Ref. Na, sin moderador, Uenr+Pu, reproductor.

Los reactores más empleados en las centrales nucleoeléctricas son:

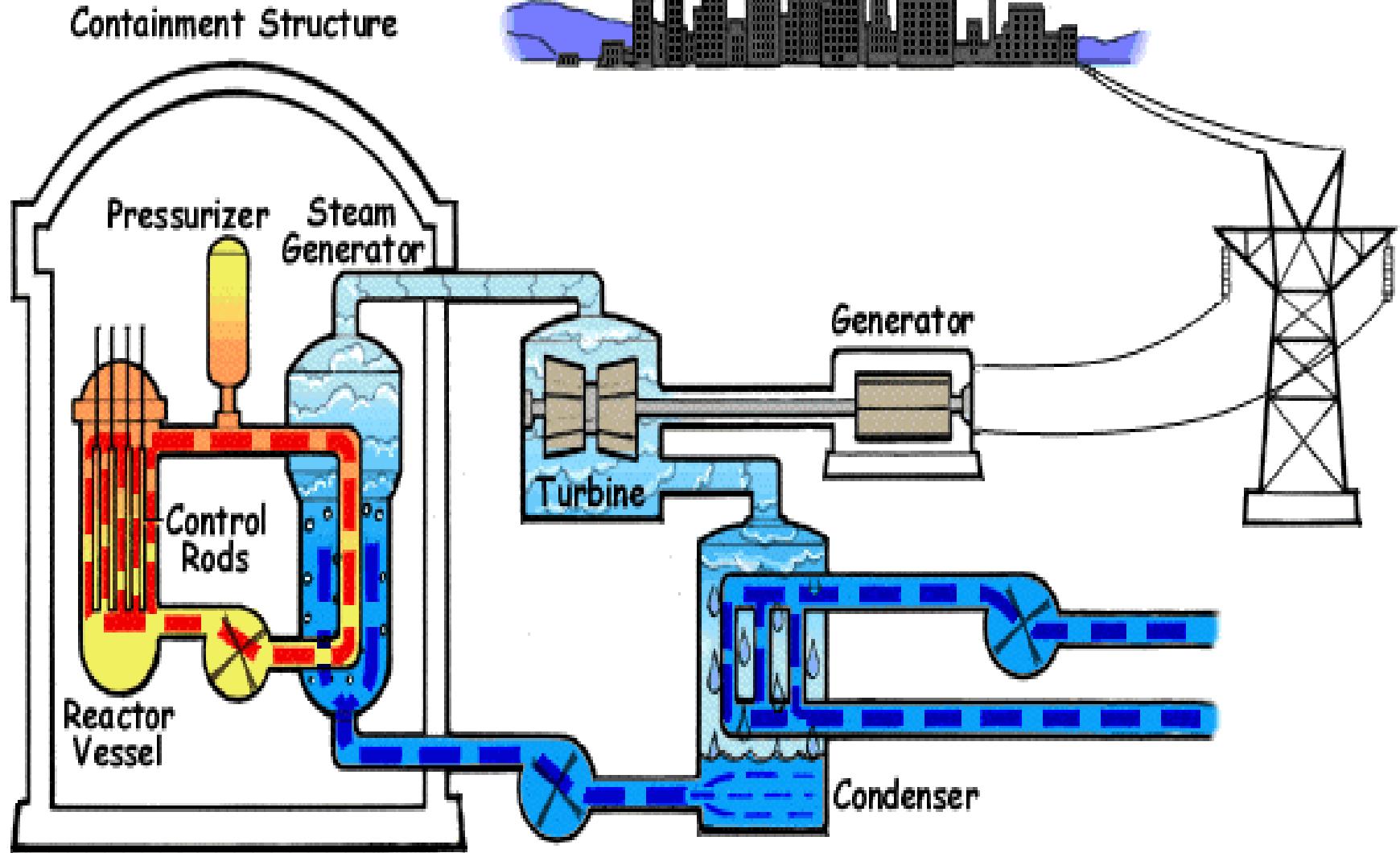
- Reactor de agua a presión (PWR)**, que emplea agua ligera como moderador y refrigerante; óxido de uranio enriquecido como combustible. El refrigerante circula a una presión tal que el agua no alcanza la ebullición, y extrae el calor del reactor, que después lleva a un intercambiador de calor, donde se genera el vapor que alimenta a la turbina.
- Reactor de agua en ebullición (BWR)**, que emplea elementos similares al anterior, pero ahora el refrigerante, al trabajar a menor presión, alcanza la temperatura de ebullición al pasar por el núcleo del reactor, y parte del líquido se transforma en vapor, el cual una vez separado de aquél y reducido su contenido de humedad, se conduce hacia la turbina sin necesidad de emplear el generador de vapor.
- Reactor de agua pesada (HWR)**, que emplea agua pesada como moderador. Existen versiones en las que el refrigerante es agua pesada a presión, o agua pesada en ebullición. Puede emplear uranio natural o ligeramente enriquecido como combustible.

- **Reactor de grafito-gas.** Este tipo de reactores usan grafito como moderador y CO₂ como refrigerante. Mientras que los primeros reactores de este tipo emplearon uranio natural en forma metálica, los actuales denominados avanzados de gas (AGR) utilizan óxido de uranio enriquecido; y los denominados reactores de alta temperatura (HTGR), usan helio como refrigerante.
- **Reactor de agua en ebullición (RBMK)**, moderado por grafito, desarrollado en la Unión Soviética, que consiste en un reactor moderado por grafito, con uranio enriquecido, y refrigerado por agua en ebullición. Este tipo de reactores no se han empleado en Europa occidental.

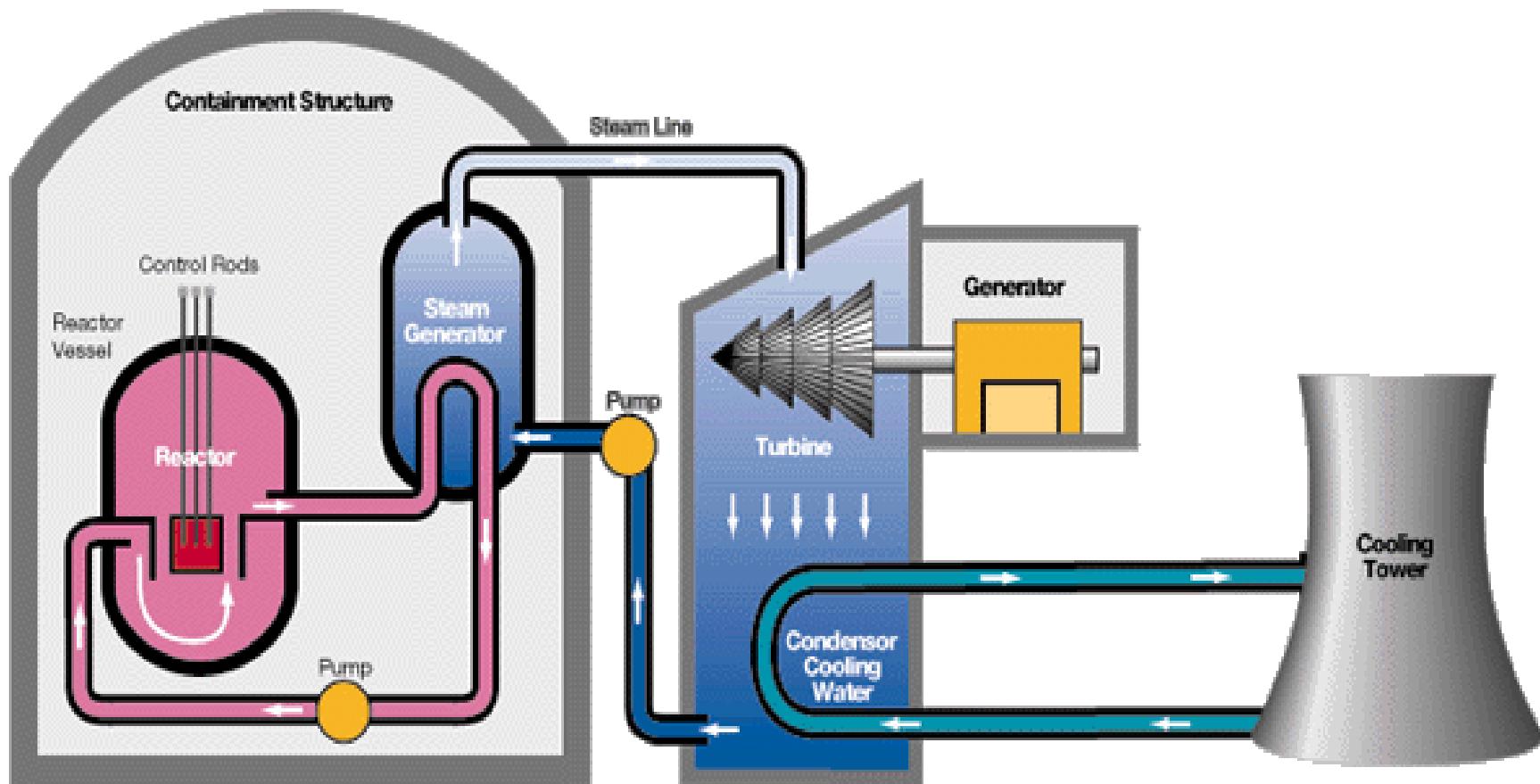
Comparación de reactores nucleares de potencia

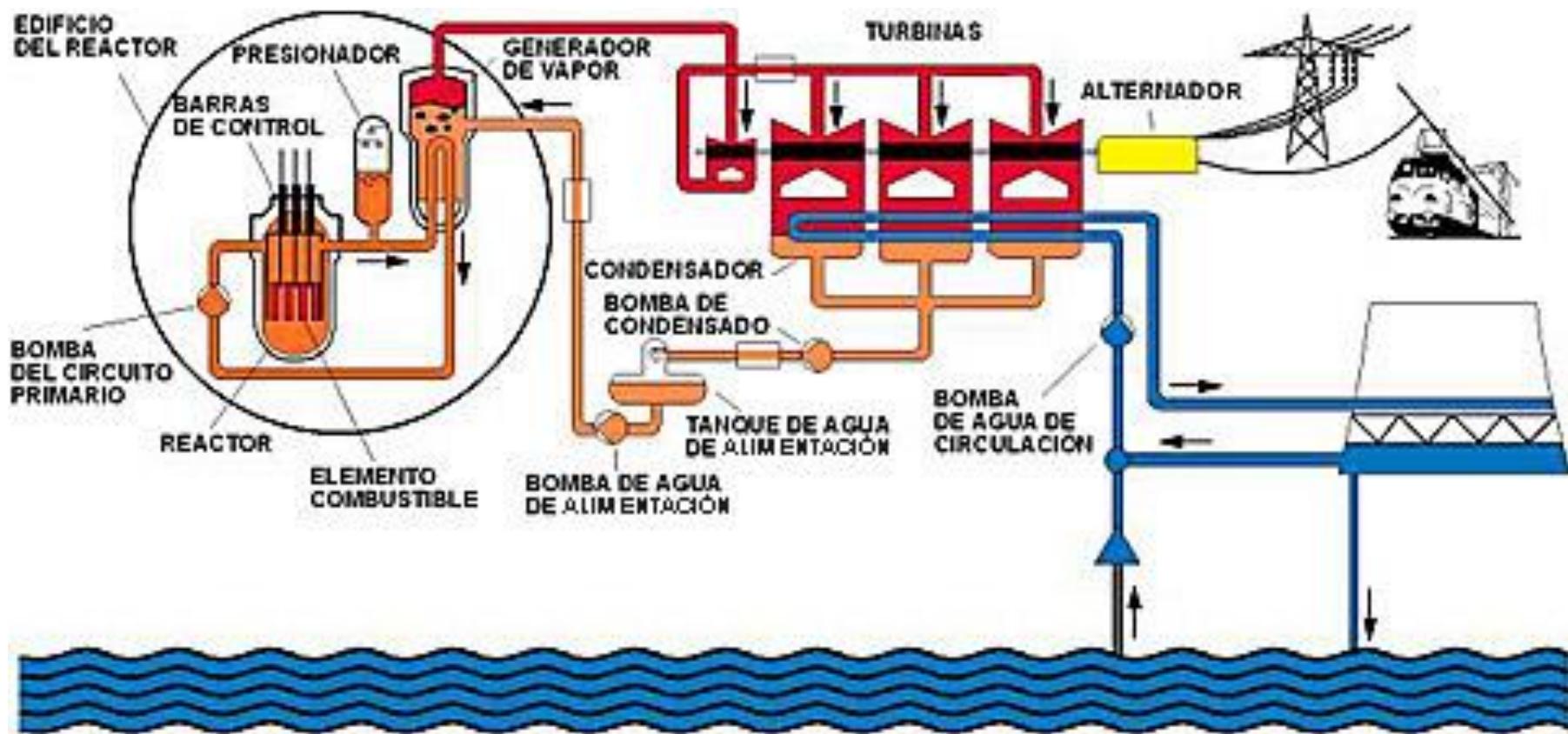
| Reactor type | Main Countries | Number | GWe | Fuel | Coolant | Moderator |
|--|---------------------------|--------|-----|---|-----------------|-------------|
| Pressurised Water Reactor (PWR) | US, France, Japan, Russia | 260 | 243 | enriched UO ₂ | water | water |
| Boiling Water Reactor (BWR) | US, Japan, Sweden | 92 | 83 | enriched UO ₂ | water | water |
| Pressurised Heavy Water Reactor "CANDU" (PHWR) | Canada | 34 | 18 | natural UO ₂ | heavy water | heavy water |
| Gas-cooled Reactor (Magnox & AGR) | UK | 32 | 12 | natural U (metal), enriched UO ₂ | CO ₂ | graphite |
| Light Water Graphite Reactor (RBMK) | Russia | 13 | 14 | enriched UO ₂ | water | graphite |
| Fast Neutron Reactor (FBR) | Japan, France, Russia | 4 | 1.3 | PuO ₂ and UO ₂ | liquid sodium | none |
| other | Russia, Japan | 5 | 0.2 | | | |
| | TOTAL | 440 | 371 | | | |

The Pressurized Water Reactor (PWR)



Pressurized Water Reactor System

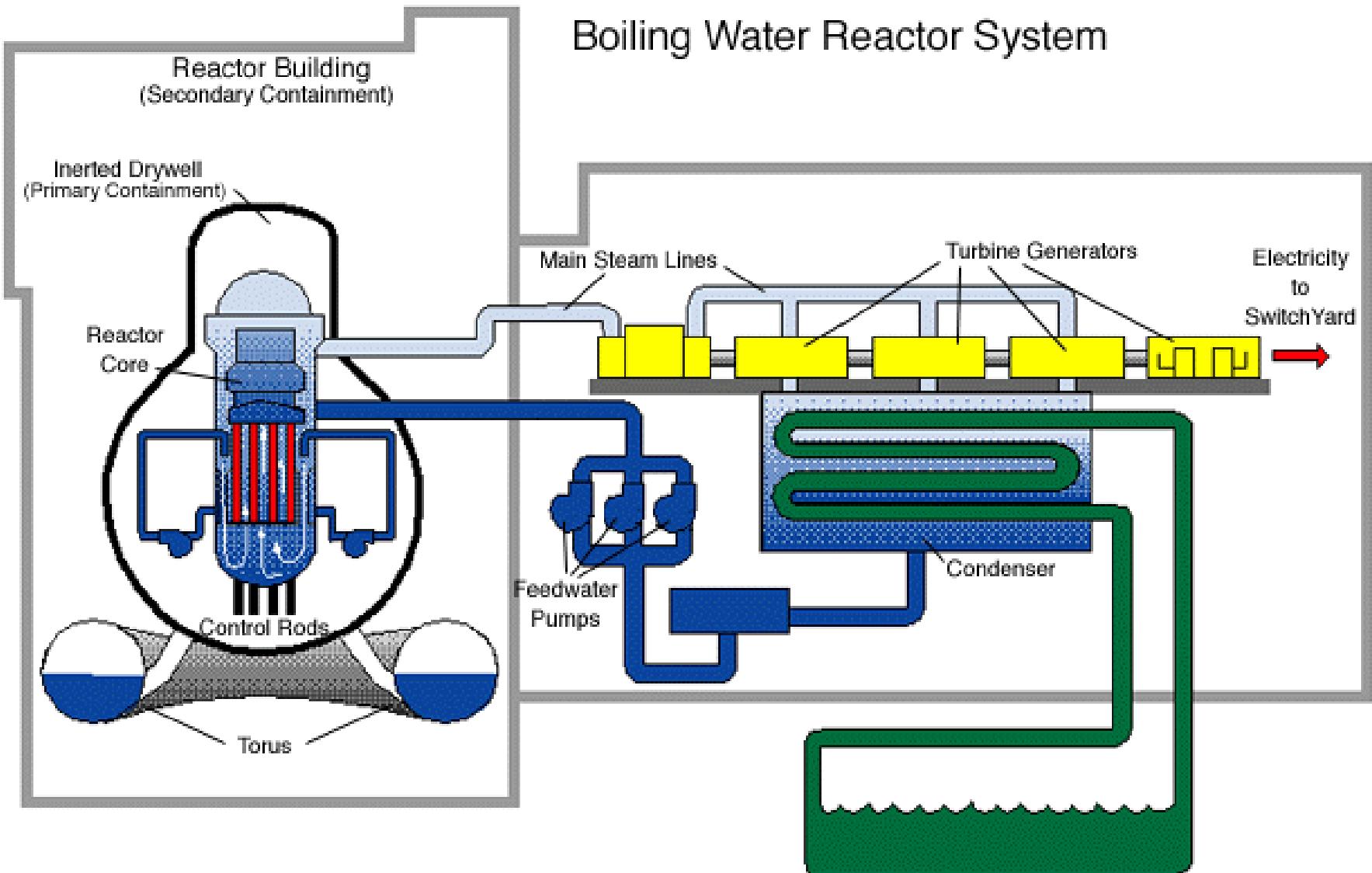


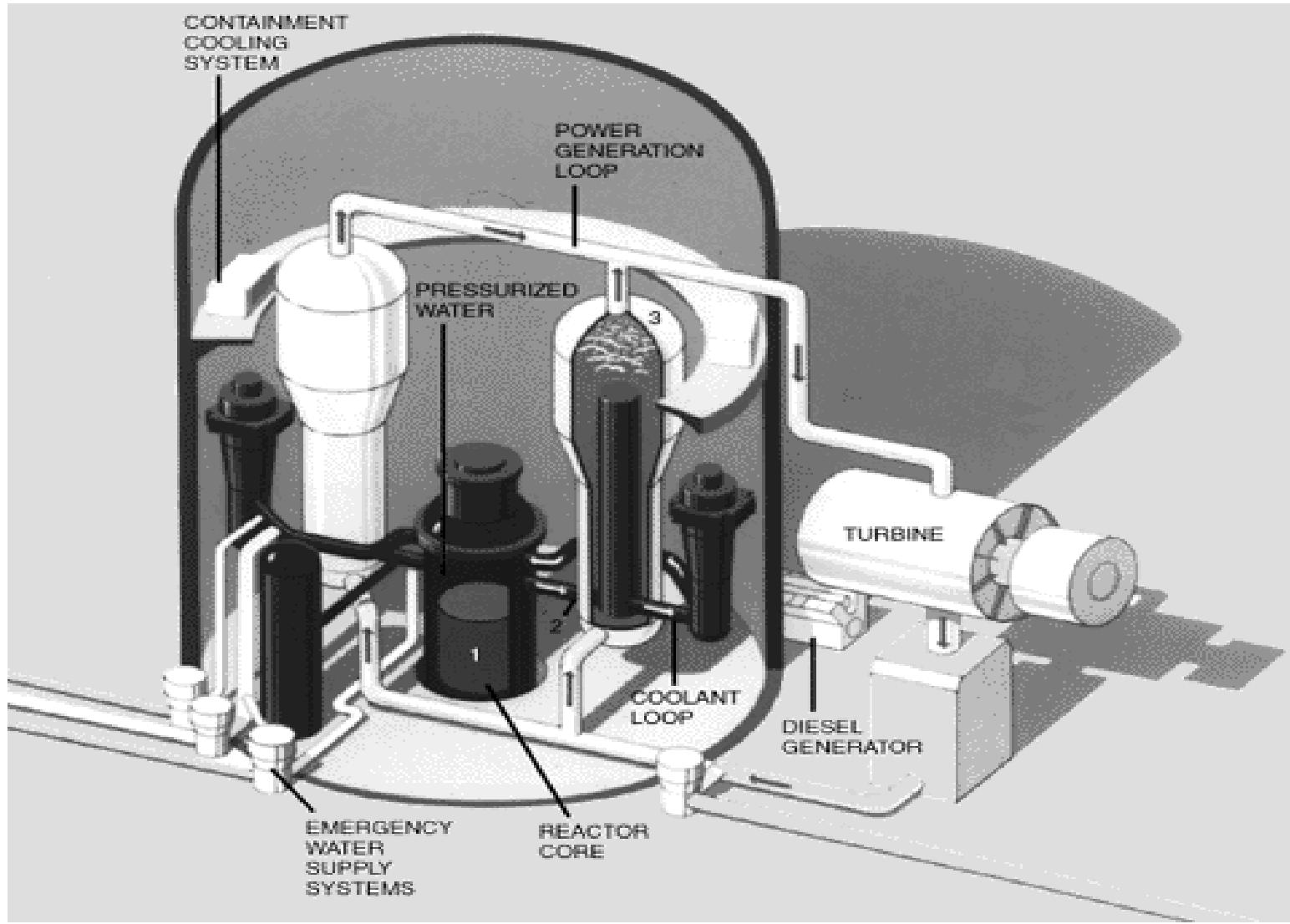


En este esquema se observan las tres partes de una central nuclear tipo:

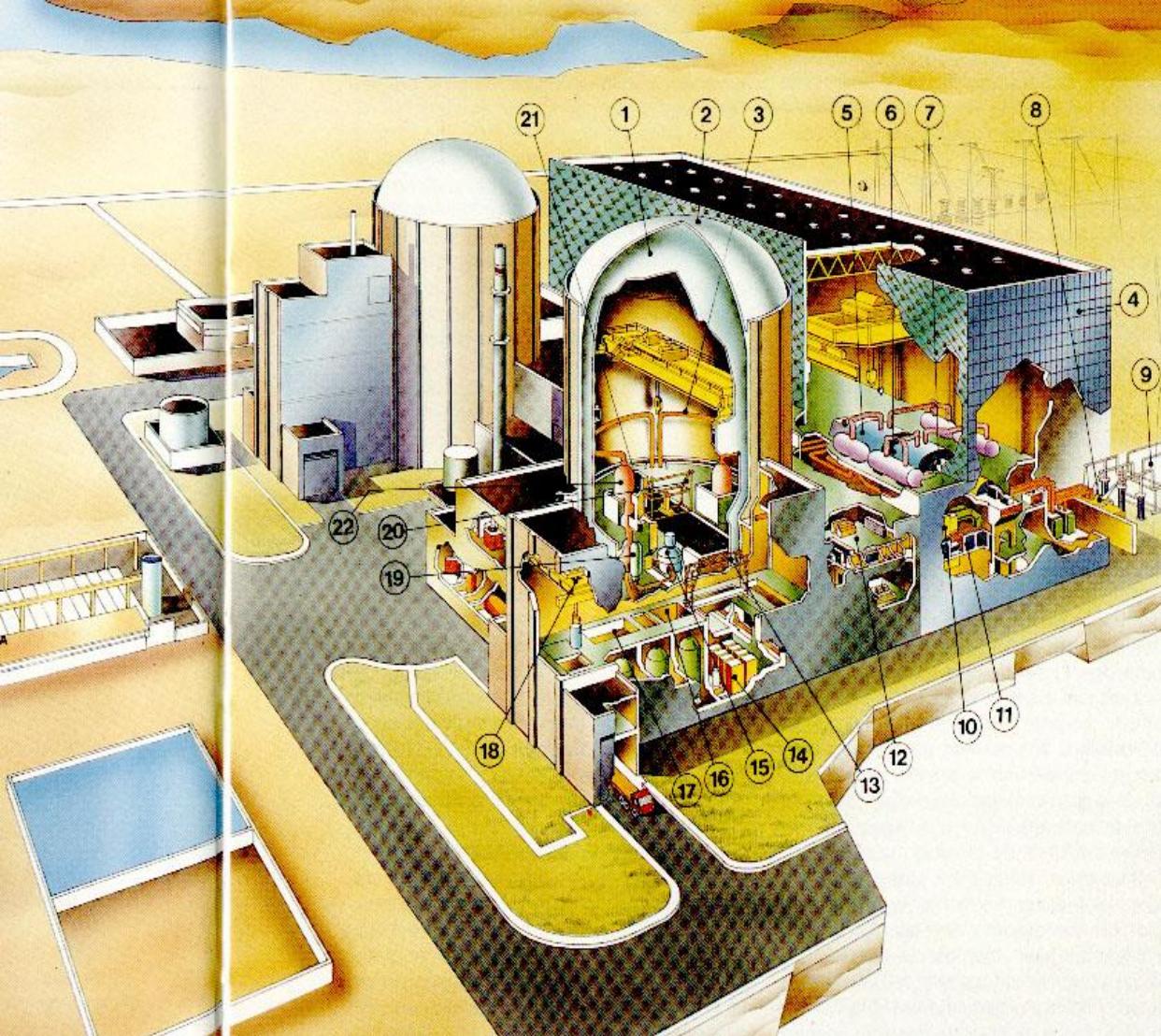
- Circuito Primario, (Edificio del Reactor)
- Circuito Secundario, (Generación de electricidad)
- Circuito de Refrigeración

Boiling Water Reactor System





Pressurized Water Reactor



Central Nuclear

1. Edificio de contención primaria
2. Edificio de contención secundaria
3. Tuberías de agua a presión
4. Edificio de turbinas
5. Turbina de alta presión
6. Turbina de baja presión
7. Generador eléctrico
8. Transformadores
9. Parque de salida
10. Condensador
11. Agua de refrigeración
12. Sala de control
13. Grúa de manejo del combustible gastado
14. Almacenamiento del combustible gastado
15. Reactor
16. Foso de descontaminación
17. Almacen de combustible nuevo
18. Grúa del edificio de combustible
19. Bomba refrigerante del reactor
20. Grúa de carga del combustible
21. Presionador
22. Generador de vapor

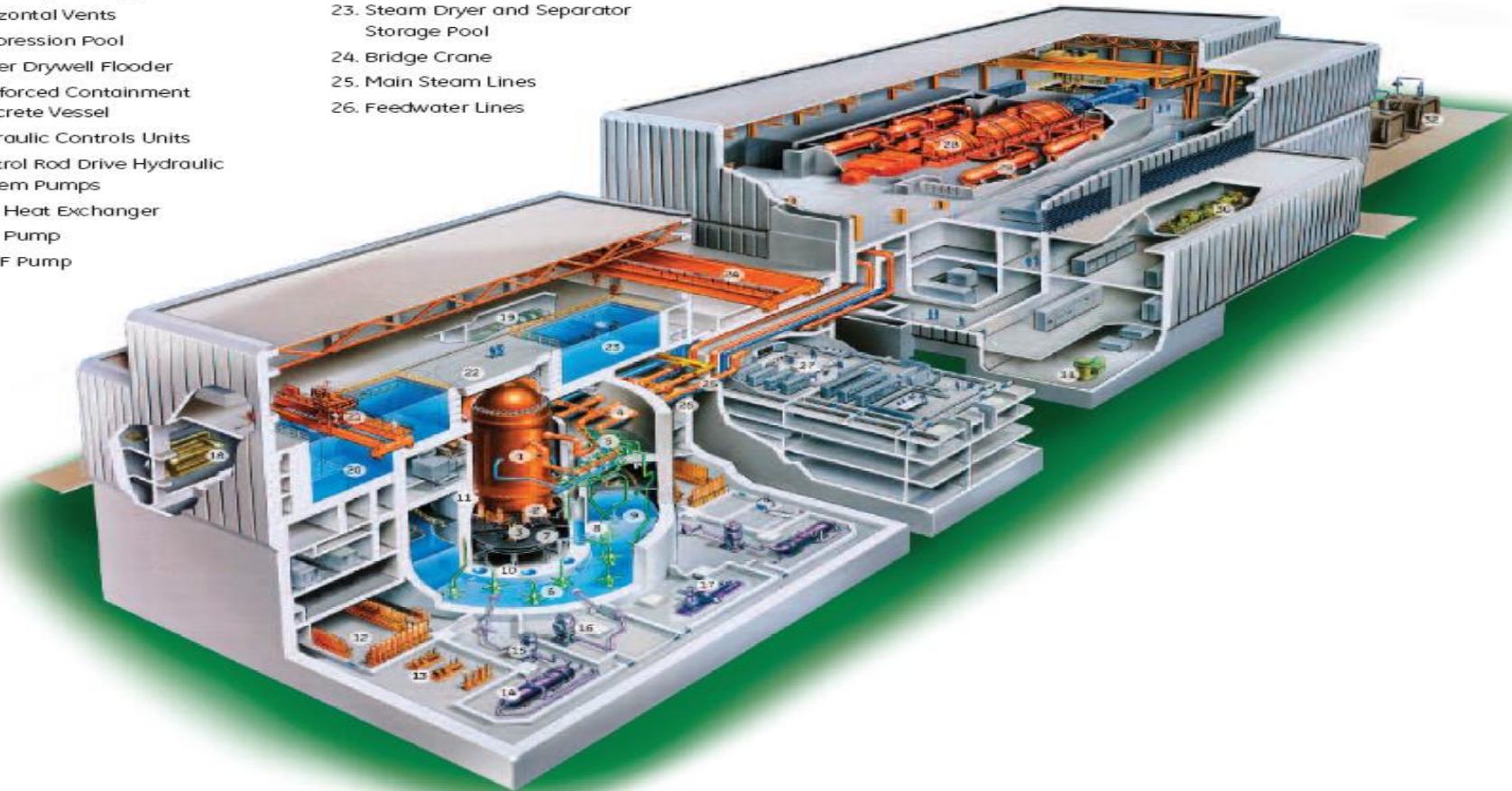
Advanced Boiling Water Reactor Assembly

- | | |
|---|---|
| 1. Vessel Flange and Closure Head | 19. Feedwater Sprayer |
| 2. Venti and Head Spray | 20. High Pressure Core Flooder (HPCF) Sprayer |
| 3. Steam Outlet Flow Restrictor | 21. HPCF Coupling |
| 4. RPV Stabilizer | 22. Low Pressure Rooter (LPR) |
| 5. Feedwater Nozzle | 23. Shutdown Cooling Outlet |
| 6. Forged Shell Rings | 24. Steam Separators |
| 7. Vessel Support Skirt | 25. Steam Drier |
| 8. Vessel Bottom Head | 26. Reactor Internal Pumps (RIP) |
| 9. RIP Penetrations | 27. AIP Motor Casing |
| 10. Thermal Insulation | 28. Core and RIP Differential Pressure Line |
| 11. Core Shroud | 29. Rise Motion Control Rod Drives |
| 12. Core Plate | 30. Fuel Assemblies |
| 13. Top Guide | 31. Control Rods |
| 14. Fuel Supports | 32. Local Power Range Monitor |
| 15. Control Rod Drive Housing | |
| 16. Control Rod Guide Tubes | |
| 17. In Core Housing | |
| 18. In-Core Instrument Guide Tubes and Stubbins | |



ABWR Plant Layout

- 1. Reactor Pressure Vessel
- 2. Reactor Internal Pumps
- 3. Fine Motion Control Rod Drives
- 4. Main Steam Isolation Valves
- 5. Safety/Relief Valves (SRV)
- 6. SRV Quenchers
- 7. Lower Drywell Equipment Platform
- 8. Horizontal Vents
- 9. Suppression Pool
- 10. Lower Drywell Flooder
- 11. Reinforced Containment Concrete Vessel
- 12. Hydraulic Controls Units
- 13. Control Rod Drive Hydraulic System Pumps
- 14. RHR Heat Exchanger
- 15. RHR Pump
- 16. HPCF Pump
- 17. RCIC Steam Turbine and Pump
- 18. Diesel Generator
- 19. Standby Gas Treatment Filter and Fans
- 20. Spent Fuel Storage Pool
- 21. Refueling Platform
- 22. Shield Blocks
- 23. Steam Drier and Separator Storage Pool
- 24. Bridge Crane
- 25. Main Steam Lines
- 26. Feedwater Lines
- 27. Main Control Room
- 28. Turbine-Generator
- 29. Moisture Separator Reheater
- 30. Combustion Turbine Generator
- 31. Air Compressor and Dryers
- 32. Switchyard



HITACHI

For more information, contact your GE Hitachi Nuclear Energy sales representative or visit us at www.ge-energy.com/nuclear

© 2009 GE Hitachi Nuclear Energy. All Rights Reserved.

GEA-14576E

Fabricantes

- General Electric
- Hitachi
- Westinghouse
- Toshiba
- Framatome (ex Siemens)
- Atomic Energy of Canada Limited





C.N. José Cabrera

Localización: Almonacid de Zorita

Puesta en marcha: 1968

Potencia instalada: 160 MW

Producción desde origen: 29.371.418 MW·h



C.N. Almaraz 1 y 2

Localización: Navalmoral de la Mata (Cáceres)

Puesta en marcha: 1971; 1983

Potencia instalada: 973'5 MW y 982'6 MW

Producción desde origen: 116.388.142 MW·h y 112.940.280 MW·h



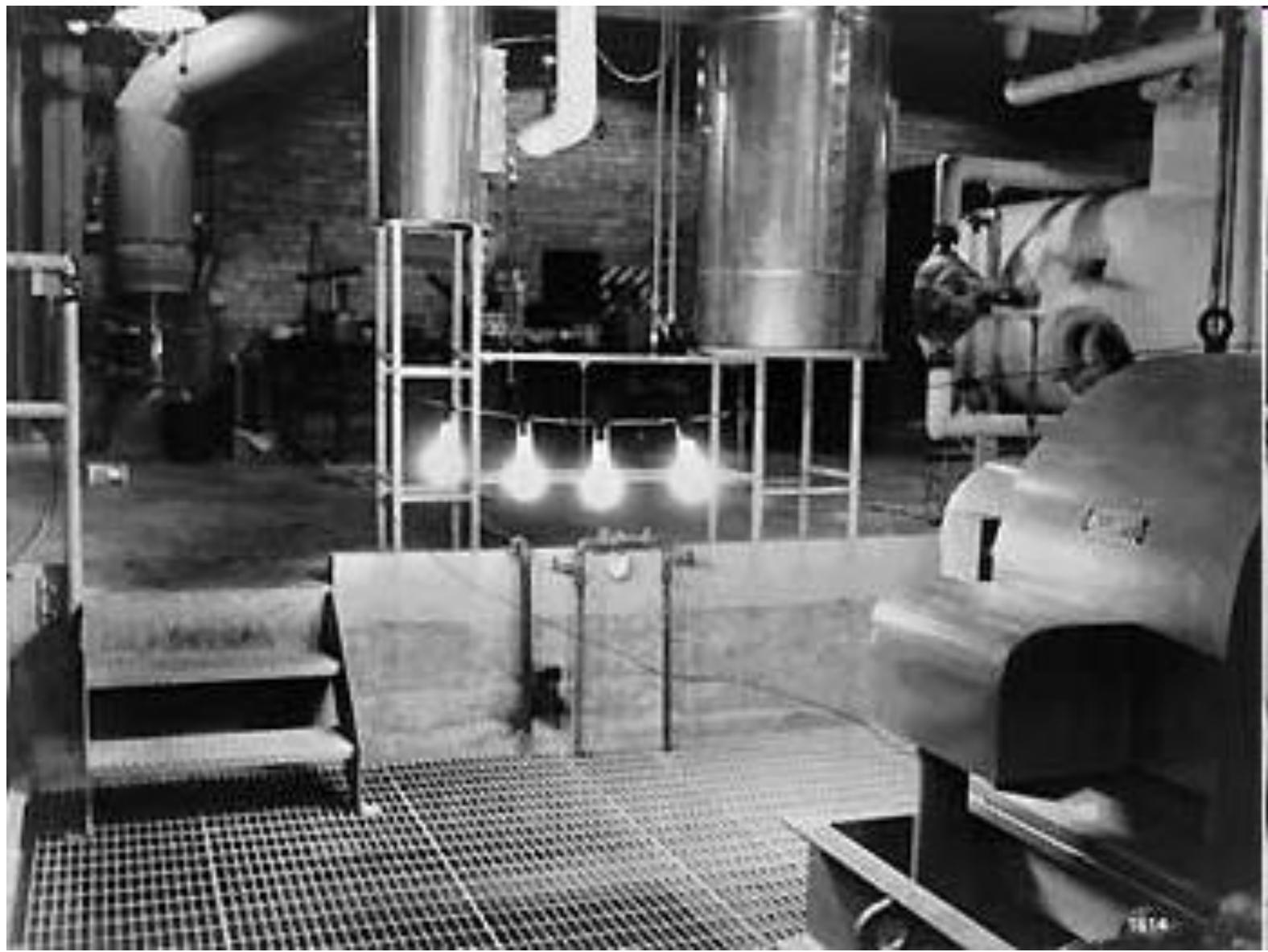
C.N. Vandellós 2

Localización: Hospitalet de L'Infant (Tarragona)

Puesta en marcha: Marzo 1988

Potencia instalada: 1057 MW

Producción desde origen: 88.857.711 MW·h



First electricity production by nuclear energy.

Experimental Breeder Reactor EBR-I, 20 Dec. 1951, Arco, Idaho, USA

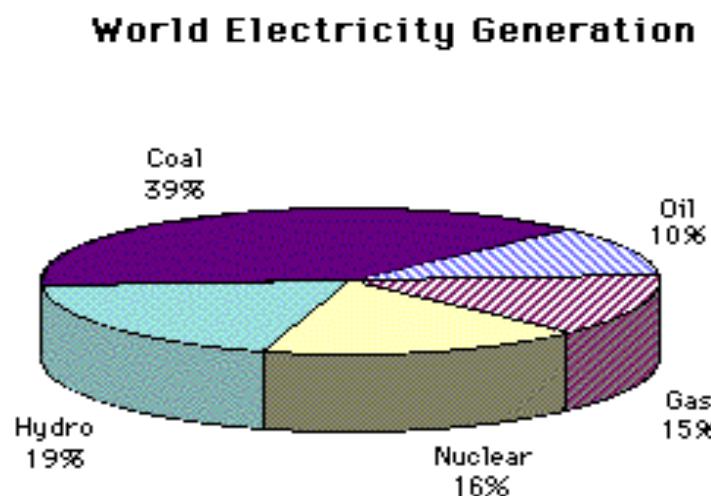
II. Energía Nuclear en el Mundo y Europa

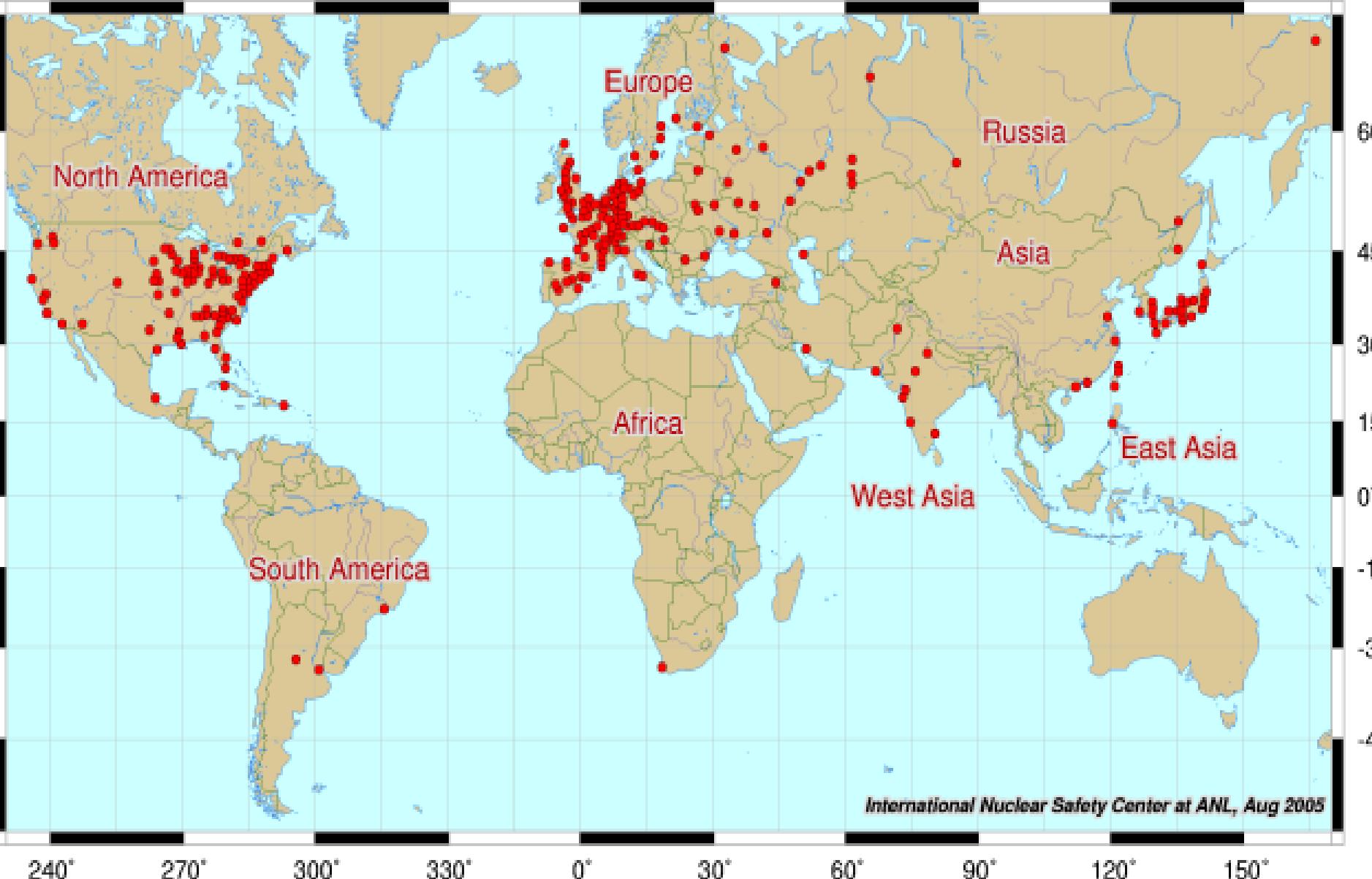
-En el mundo hay 429 reactores nucleares en operación y 24 en construcción.

-{As of 7 May 2009 in 31 countries 436 nuclear power plant units with an installed electric net capacity of about 370 GW are in operation and 45 plants with an installed capacity of 40 GW are in 14 countries under construction.}

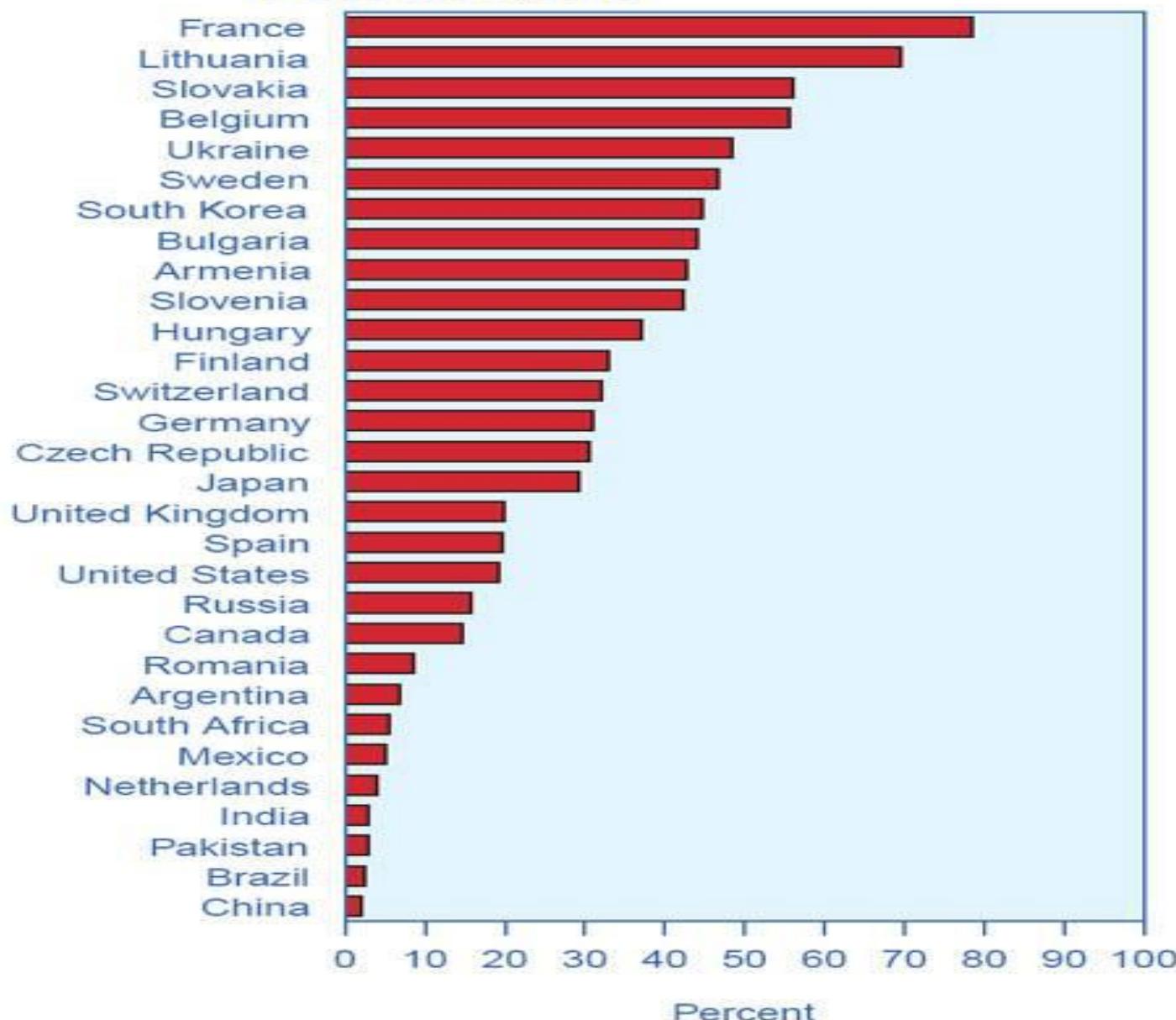
-Estados Unidos posee 109 de dichos reactores, Francia tiene 59, Japón 56 y España 8.

-En la Unión Europea el 38% de la energía eléctrica producida es nuclear, (en Francia es el 79%, en Bélgica el 55%, en Suecia el 47%, en Alemania el 31% y en España el 19%).





Nuclear Shares of National Electricity Generation, 2005



Source: International Atomic Energy Agency, Reference Data Series 2, "Power Reactor Information System," web site www.iaea.org/programmes/a2/ (April 2006).

Summary of Nuclear Power Reactors

| | Nuclear generation 2005 | | OPERABLE at Sept 2006 | | CONSTRUCTION at Sept 2006 | | PLANNED at Sept 2006 | | PROPOSED at Sept 2006 | |
|------------------|-------------------------|-----------|-----------------------|----------------|---------------------------|---------------|----------------------|---------------|-----------------------|----------------|
| | TWh | % e | No. | MWe | No. | MWe | No. | MWe | No. | MWe |
| Argentina | 6.4 | 6.9 | 2 | 935 | 1 | 692 | 0 | 0 | 1 | 1000 |
| Armenia | 2.5 | 43 | 1 | 376 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1000 |
| Belgium | 45.3 | 56 | 7 | 5728 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Brazil | 9.9 | 2.5 | 2 | 1901 | 0 | 0 | 1 | 1245 | | |
| Bulgaria | 17.3 | 44 | 4 | 2722 | 0 | 0 | 2 | 1900 | | |
| Canada* | 86.8 | 15 | 18 | 12595 | 2 | 1540 | 2 | 2000 | | |
| Chinese mainland | 50.3 | 2 | 10 | 7587 | 5 | 4170 | 13 | 12920 | 50 | 35880 |
| Taiwan | 38.4 | 20 | 6 | 4884 | 2 | 2600 | 0 | 0 | | |
| Czech Rep. | 23.3 | 31 | 6 | 3472 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1900 |
| Egypt | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 600 |
| Finland | 22.3 | 33 | 4 | 2696 | 1 | 1600 | 0 | 0 | | |
| France | 430.9 | 79 | 59 | 63473 | 0 | 0 | 1 | 1630 | | |
| Germany | 154.6 | 31 | 17 | 20303 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Hungary | 13 | 37 | 4 | 1773 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| India | 15.7 | 2.8 | 16 | 3577 | 7 | 3088 | 4 | 2800 | 20 | 10360 |
| Indonesia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4000 |
| Iran | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 915 | 2 | 1900 | 3 | 2850 |
| Israel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1200 |
| Japan | 280.7 | 29 | 55 | 47700 | 2 | 2285 | 11 | 14945 | 1 | 1100 |
| Kazakhstan | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | 1 | 300 |
| Korea DPR (N) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 950 | | |
| Korea RO (S) | 139.3 | 45 | 20 | 17533 | 1 | 950 | 7 | 8250 | | |
| Lithuania | 10.3 | 70 | 1 | 1185 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1000 |
| Mexico | 10.8 | 5 | 2 | 1310 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2000 |
| Netherlands | 3.8 | 3.9 | 1 | 452 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Pakistan | 2.4 | 2.8 | 2 | 400 | 1 | 300 | 2 | 600 | 2 | 1200 |
| Romania | 5.1 | 8.6 | 1 | 655 | 1 | 655 | 0 | 0 | 3 | 1995 |
| Russia | 137.3 | 16 | 31 | 21743 | 5 | 4550 | 2 | 1850 | 8 | 9375 |
| Slovakia | 16.3 | 56 | 6 | 2472 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 840 |
| Slovenia | 5.6 | 42 | 1 | 676 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| South Africa | 12.2 | 5.5 | 2 | 1842 | 0 | 0 | 1 | 165 | 24 | 4000 |
| Spain | 54.7 | 20 | 8 | 7442 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Sweden | 69.5 | 45 | 10 | 8975 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Switzerland | 22.1 | 32 | 5 | 3220 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Turkey | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4500 | | |
| Ukraine | 83.3 | 49 | 15 | 13168 | 0 | 0 | 2 | 1900 | | |
| UK | 75.2 | 20 | 23 | 11852 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| USA | 780.5 | 19 | 103 | 98054 | 1 | 1065 | 2 | 2716 | 21 | 24000 |
| Vietnam | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2000 |
| WORLD | 2,626 | 16 | 442 | 370,701 | 30 | 24,410 | 56 | 60,271 | 150 | 106,600 |

Source: Reactor data: WNA to 12/9/06

Cuadro 1: situación de la energía nuclear en el mundo en 2004

| Paises | Funcionan | Reactores nucleares ¹⁰ | | | Previstos ¹¹ | Electricidad Proporción en la generación de electricidad ¹² |
|---|------------|-----------------------------------|--------------------|--|-------------------------|---|
| | | Edad media | En construcción | | | |
| Argentina | 2 | 26 | 1 | | 1 | 9 % |
| Armenia | 1 | 24 | 0 | | 0 | 36 % |
| Bélgica | 7 | 24 | 0 | | 0 | 56 % |
| Brasil | 2 | 13 | 0 | | 1 | 4 % |
| Bulgaria | 4 | 19 | 0 | | 0 | 38 % |
| Canadá ¹⁴ | 17 | 20 | 0 | | 2 | 13 % |
| China | 10 | 4 | 1 | | 4 | 2 % |
| República Checa | 6 | 13 | 0 | | 0 | 31 % |
| Finlandia ¹⁵ | 4 | 25 | 1 | | 0 | 27 % |
| Francia ¹⁶ | 59 | 20 | 0 | | 1 | 78 % |
| Alemania | 18 | 23 | 0 | | 0 | 28 % |
| Hungría | 4 | 19 | 0 | | 0 | 33 % |
| India | 14 | 17 | 8 | | 0 | 3 % |
| Irán | 0 | 0 | 2 | | 1 | 0 % |
| Japón | 54 | 20 | 2 | | 12 | 25 % |
| República Popular Democrática de Corea (del Norte) ¹⁷ | 0 | 0 | 1 | | 1 | 0 % |
| República de Corea (del Sur) | 19 | 12 | 1 | | 8 | 40 % |
| Lituania | 2 | 19 | 0 | | 0 | 80 % |
| México | 2 | 13 | 0 | | 0 | 5 % |
| Paises Bajos | 1 | 31 | 0 | | 0 | 5 % |
| Pakistán | 2 | 19 | 0 | | 1 | 2 % |
| Rumanía | 1 | 8 | 1 | | 0 | 9 % |
| Rusia | 30 | 23 | 3 | | 0 | 17 % |
| Eslovaquia | 6 | 17 | 0 | | 0 | 57 % |
| Eslovenia | 1 | 23 | 0 | | 0 | 40 % |
| Sudáfrica | 2 | 20 | 0 | | 0 | 6 % |
| España | 9 | 23 | 0 | | 0 | 24 % |
| Suecia | 11 | 26 | 0 | | 0 | 50 % |
| Suiza | 5 | 29 | 0 | | 0 | 40 % |
| Taiwán | 6 | 23 | 2 | | 0 | 22 % |
| Ucrania | 14 | 17 | 3 | | 0 | 46 % |
| Reino Unido | 23 | 26 | 0 | | 0 | 24 % |
| Estados Unidos | 104 | 25 | 0 | | 0 | 20 % |
| UE25 | 151 | 22 | 1 | | 1 | 31 % |
| Total | 440 | 21 | 26 | | 32 | 16 % |

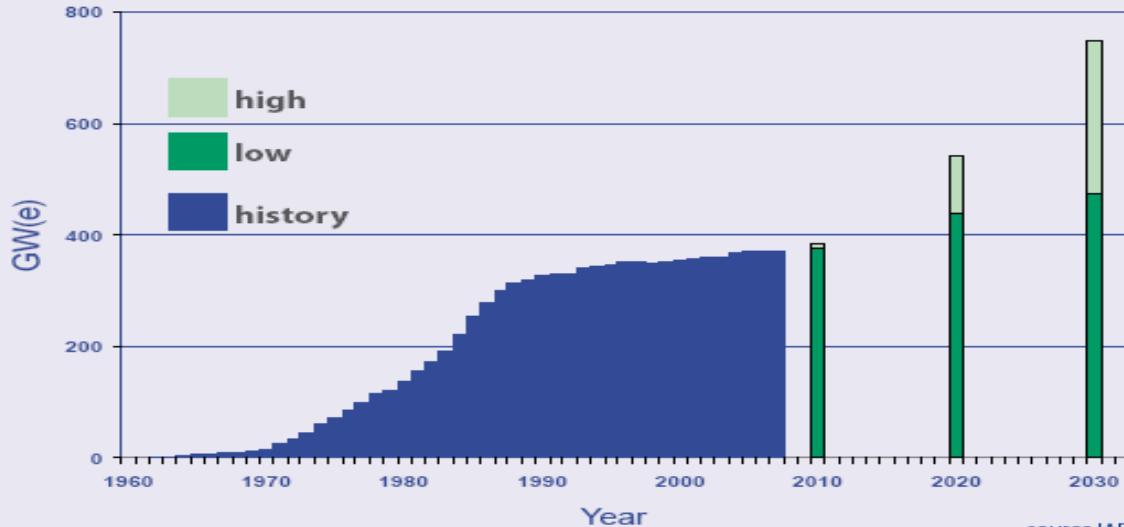
Top 10 Nuclear Generating Countries

2007, Billion kWh



Source: International Atomic Energy Agency, U.S. is from Energy Information Administration
Updated: 5/08

Fig 1. Historical growth in global nuclear power capacity (blue) plus estimates of future growth according to the IAEA's low projection (dark green) and high projection (light green).



source:IAEA

Fig 2: The Evolution of the IAEA's Low Projection since 2003

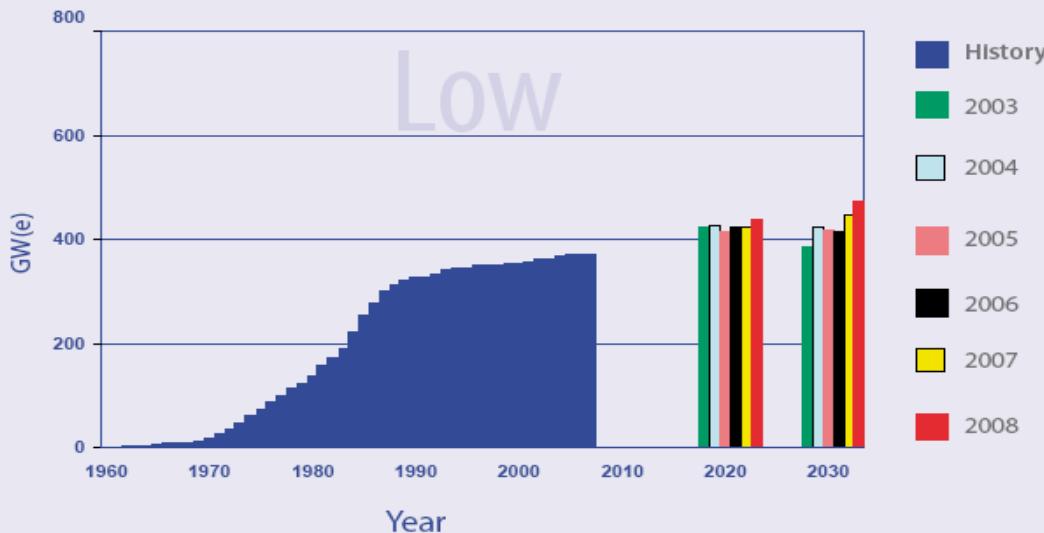
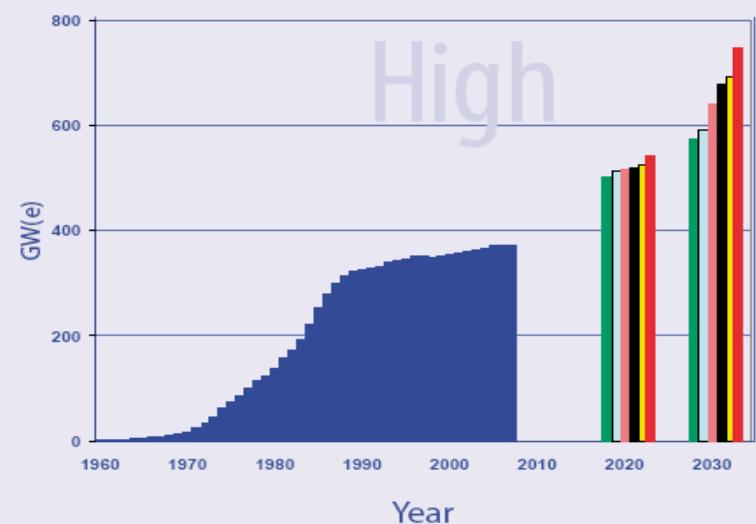


Fig 3: The Evolution of the IAEA's High Projection since 2003



source:IAEA

En estos momentos hay nueve países en el mundo que mantienen una producción de uranio enriquecido para fines civiles:

China,

Japón,

Brasil,

Alemania,

Holanda,

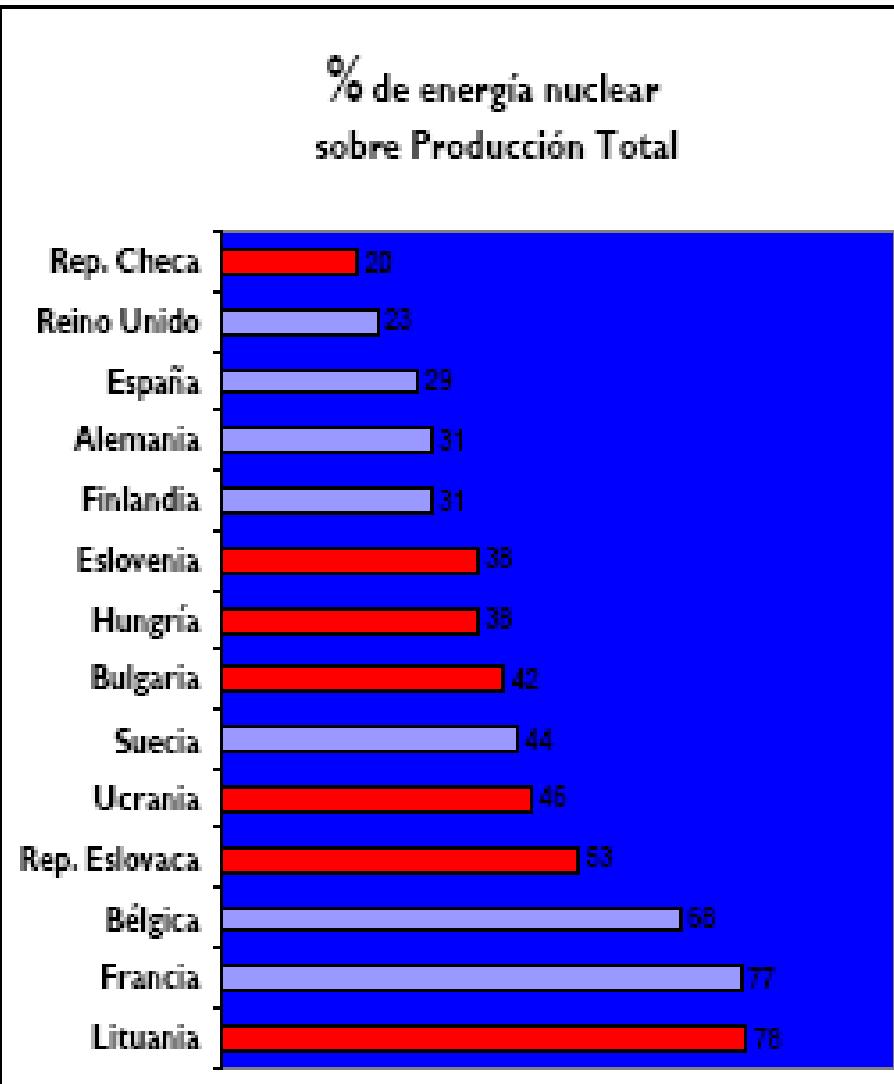
Francia,

Reino Unido,

Rusia

Estados Unidos.

Centrales nucleares en Europa



Fuente: Agencia Internacional Energía Atómica

Miembros de la U.E.

| | Reactores |
|--------------|------------|
| Países Bajos | 1 |
| Finlandia | 4 |
| Bélgica | 7 |
| España | 9 |
| Suecia | 11 |
| Alemania | 19 |
| Reino Unido | 33 |
| Francia | 59 |
| TOTAL | 143 |

Países candidatos U.E.

| | Reactores |
|---------------|-----------|
| Rumania | 1 |
| Eslovenia | 1 |
| Lituania | 2 |
| Hungría | 4 |
| Rep. Checa | 5 |
| Bulgaria | 6 |
| Rep. Eslovaca | 6 |
| TOTAL | 25 |

Otros países europeos

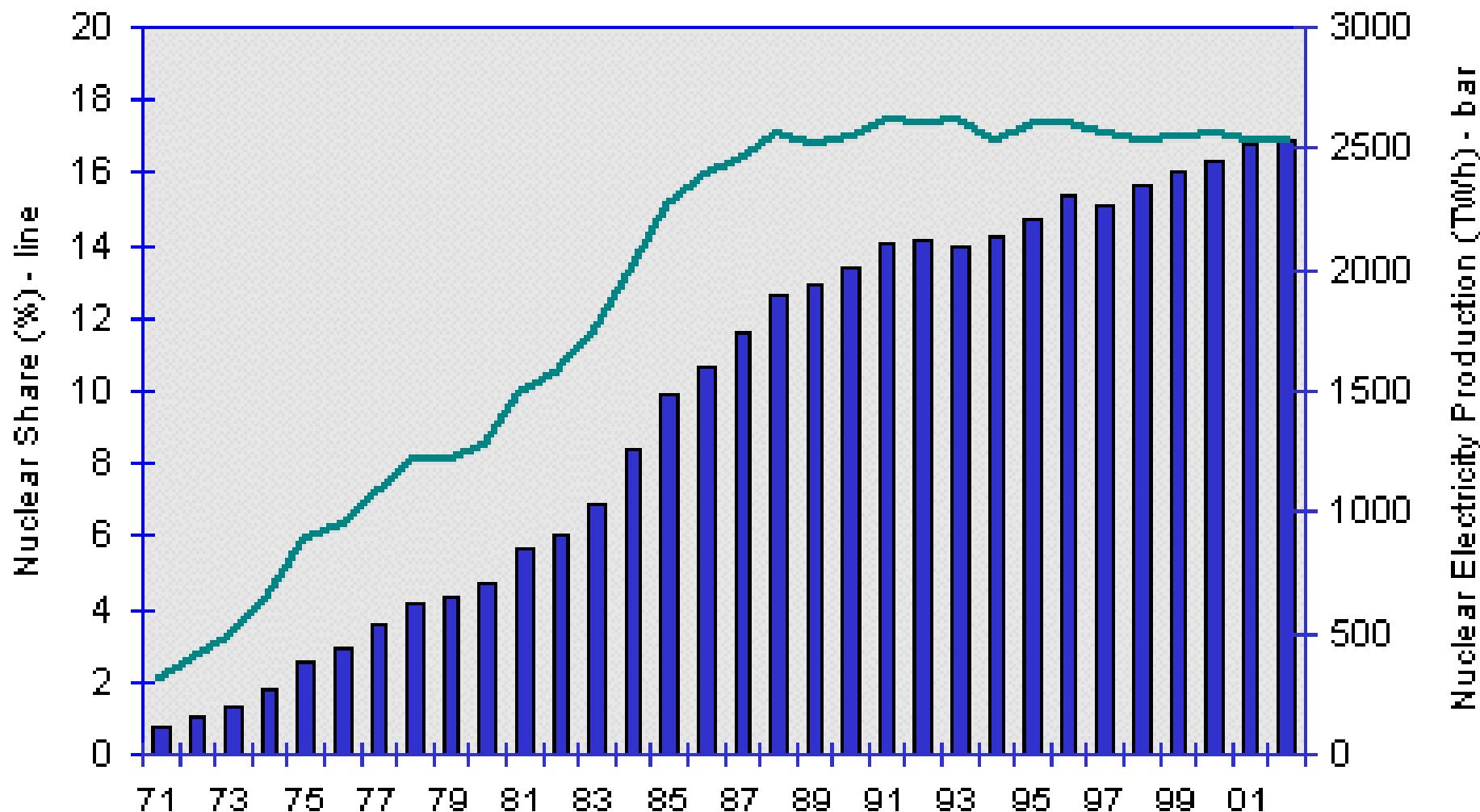
| | Reactores |
|--------------|-----------|
| Suiza | 5 |
| Ucrania | 13 |
| Rusia | 30 |
| TOTAL | 48 |

Centrales nucleares en U. E.

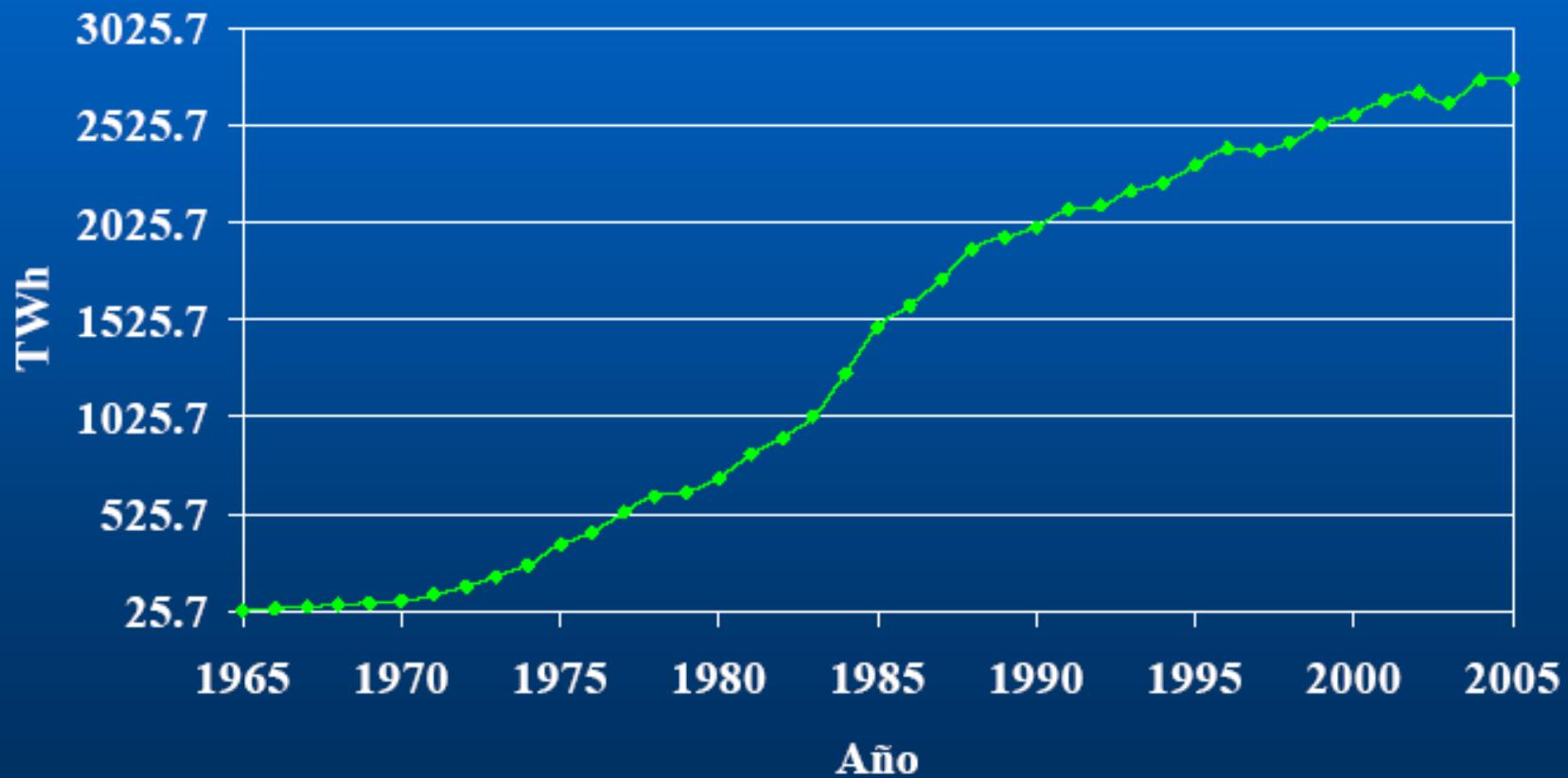
143 reactores nucleares

- Las centrales nucleares producen el 35% de la electricidad que se consume en Europa, variando del 4% (Holanda) al 79% (Francia)
- Vida media centrales: 22,3 años
- La demanda de electricidad aumenta un 4% anual (en España a un 6%)

Nuclear Electricity Production and Share of Total Electricity Production



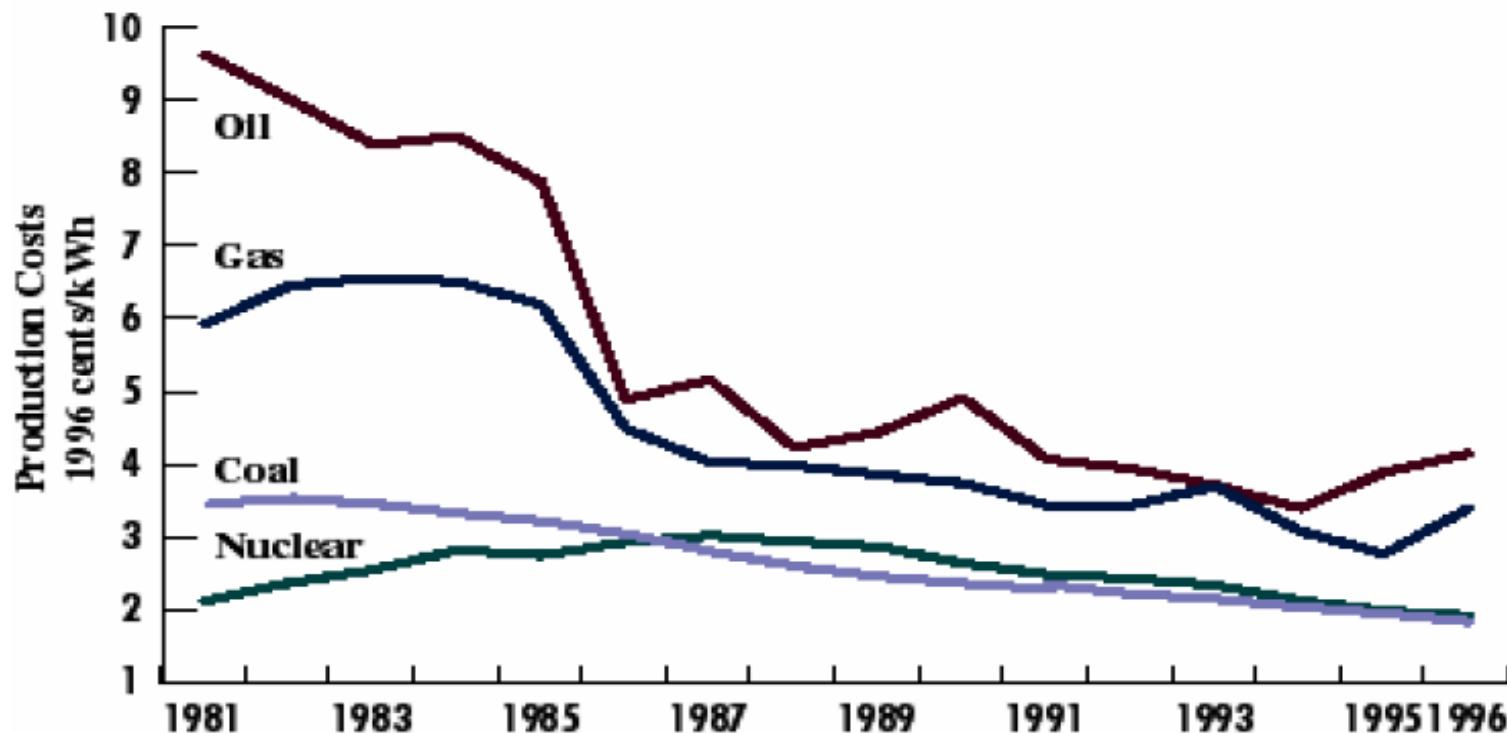
Consumo de Electricidad Nuclear en el mundo (últimos 40 años).



Fuente: Statistical report of World Energy 2006, en <http://www.bp.com>

Electricity Production Costs

(1996 dollars)



U.S. Electricity Production Costs

1995-2005 (Averages in 2005 cents per kilowatt-hour)



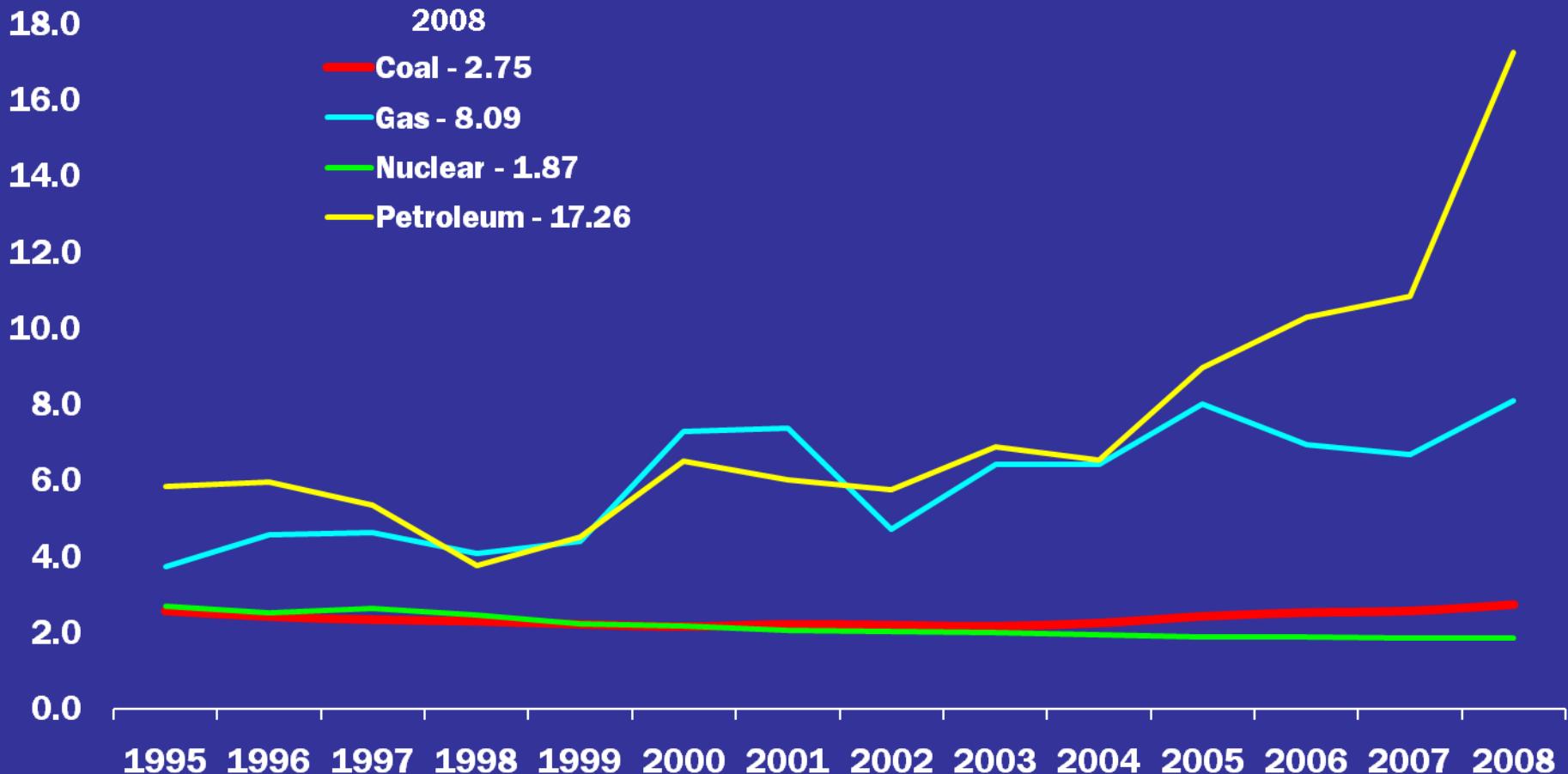
Production Costs = Operations and Maintenance Costs + Fuel Costs

Source: Global Energy Decisions
Updated: 6/06



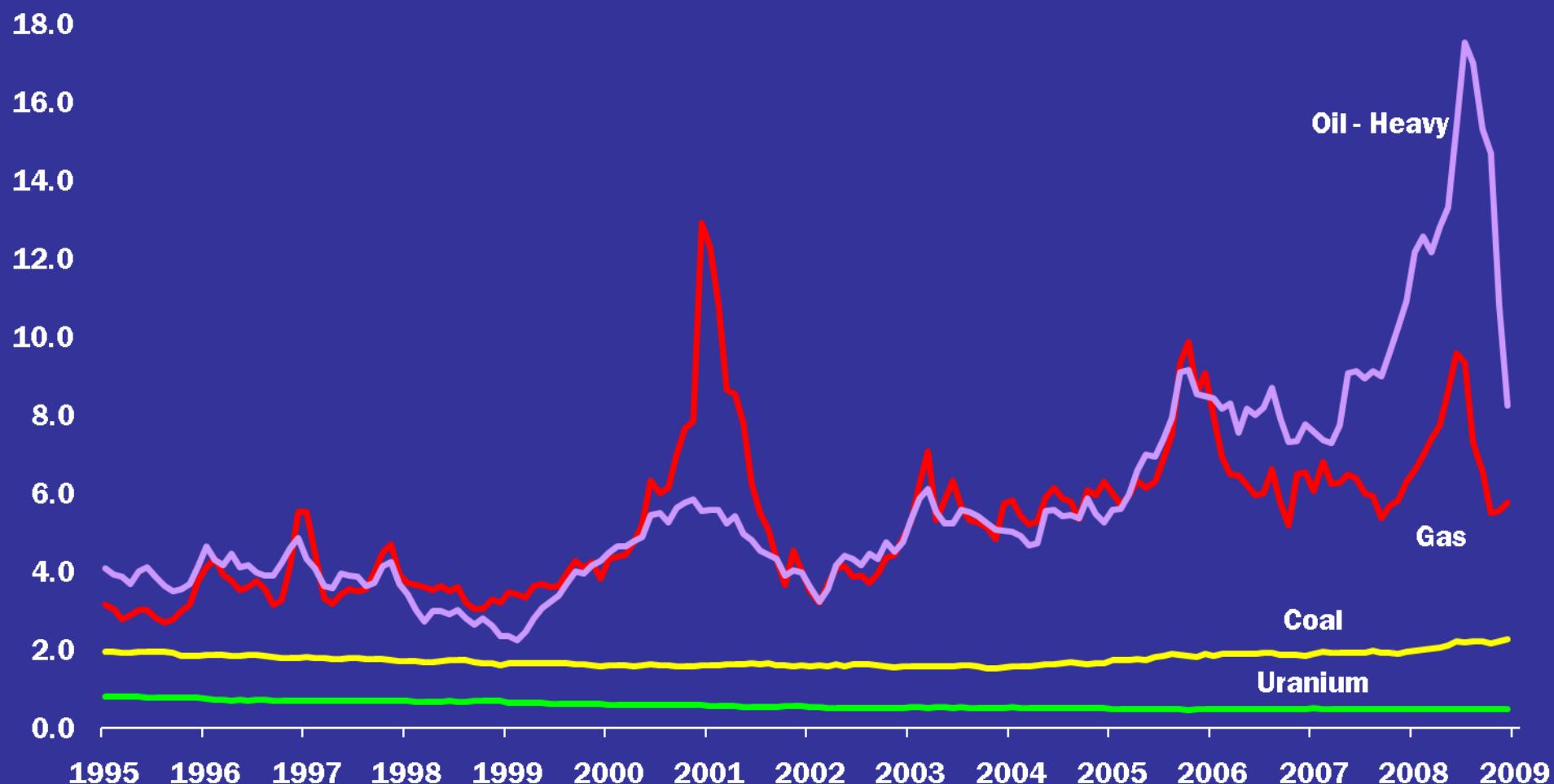
U.S. Electricity Production Costs

1995-2008, *In 2008 cents per kilowatt-hour*



Monthly Fuel Cost to U.S. Electric Utilities

1995 – 2008, *In 2008 cents per kilowatt-hour*



Source: Ventyx Velocity Suite

Updated: 5/09

U.S. Electricity Production Costs and Components

1995 - 2007, In 2007 cents per kilowatt-hour



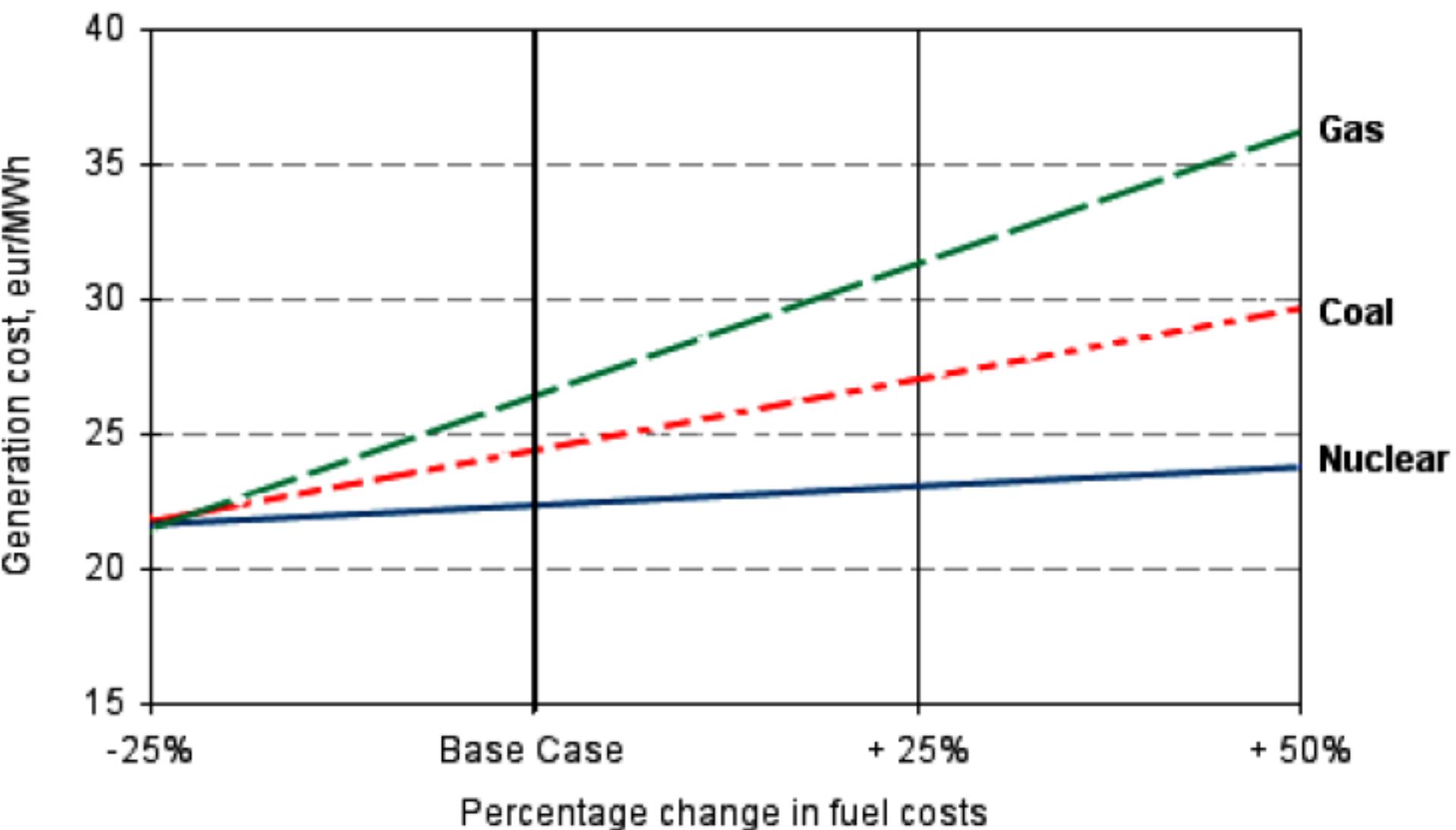
| Year | Total Production Costs | | | | Operations & Maintenance Costs | | | | Fuel Costs | | | |
|------|------------------------|------|---------|-----------|--------------------------------|------|---------|-----------|------------|------|---------|-----------|
| | Coal | Gas | Nuclear | Petroleum | Coal | Gas | Nuclear | Petroleum | Coal | Gas | Nuclear | Petroleum |
| 1995 | 2.48 | 3.60 | 2.60 | 5.64 | 0.59 | 0.69 | 1.83 | 1.58 | 1.89 | 2.92 | 0.78 | 4.05 |
| 1996 | 2.33 | 4.40 | 2.44 | 5.73 | 0.52 | 0.68 | 1.73 | 1.31 | 1.81 | 3.73 | 0.70 | 4.42 |
| 1997 | 2.25 | 4.46 | 2.54 | 5.15 | 0.50 | 0.65 | 1.86 | 1.12 | 1.75 | 3.81 | 0.69 | 4.03 |
| 1998 | 2.21 | 3.93 | 2.37 | 3.62 | 0.53 | 0.59 | 1.69 | 0.70 | 1.67 | 3.34 | 0.67 | 2.92 |
| 1999 | 2.12 | 4.23 | 2.13 | 4.35 | 0.51 | 0.50 | 1.51 | 0.99 | 1.62 | 3.73 | 0.62 | 3.36 |
| 2000 | 2.07 | 7.00 | 2.09 | 6.28 | 0.50 | 0.55 | 1.50 | 0.78 | 1.57 | 6.46 | 0.58 | 5.51 |
| 2001 | 2.13 | 7.08 | 1.98 | 5.78 | 0.53 | 0.62 | 1.43 | 0.79 | 1.60 | 6.47 | 0.54 | 4.99 |
| 2002 | 2.10 | 4.52 | 1.95 | 5.54 | 0.53 | 0.62 | 1.44 | 0.90 | 1.57 | 3.89 | 0.51 | 4.64 |
| 2003 | 2.08 | 6.16 | 1.92 | 6.61 | 0.53 | 0.64 | 1.40 | 1.05 | 1.55 | 5.53 | 0.51 | 5.56 |
| 2004 | 2.16 | 6.42 | 1.89 | 6.35 | 0.55 | 0.53 | 1.38 | 0.95 | 1.61 | 5.89 | 0.51 | 5.41 |
| 2005 | 2.34 | 8.04 | 1.81 | 8.71 | 0.55 | 0.51 | 1.34 | 0.93 | 1.80 | 7.53 | 0.47 | 7.78 |
| 2006 | 2.44 | 6.98 | 1.79 | 10.07 | 0.57 | 0.57 | 1.32 | 1.29 | 1.88 | 6.41 | 0.47 | 8.78 |
| 2007 | 2.47 | 6.78 | 1.76 | 10.26 | 0.56 | 0.49 | 1.29 | 1.28 | 1.91 | 6.28 | 0.47 | 8.98 |

Production Costs = Operations and Maintenance Costs + Fuel Costs

Source: Global Energy Decisions

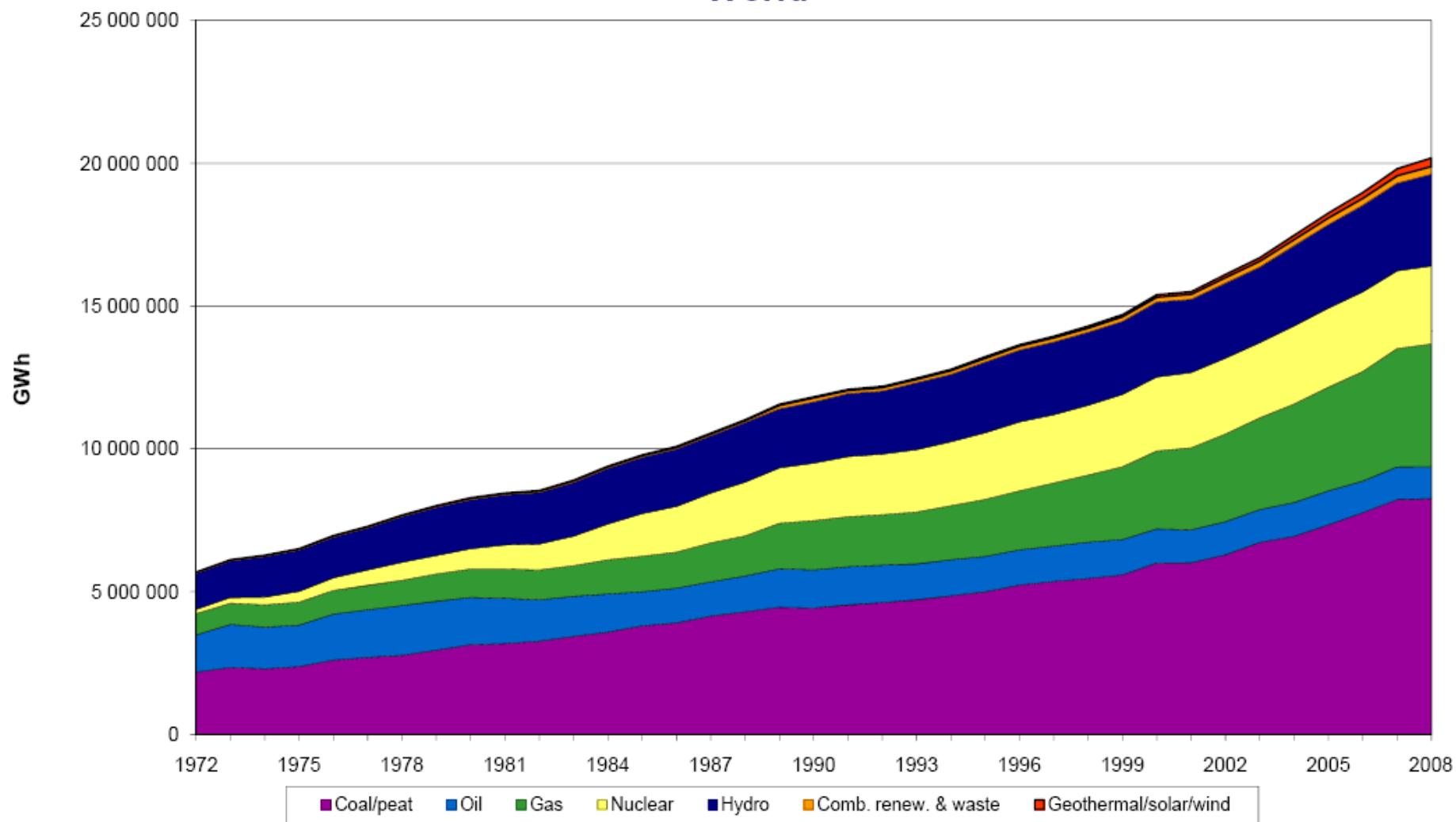
Updated: 5/08

**The impact of fuel costs on electricity generation costs.
Finland, early 2000**





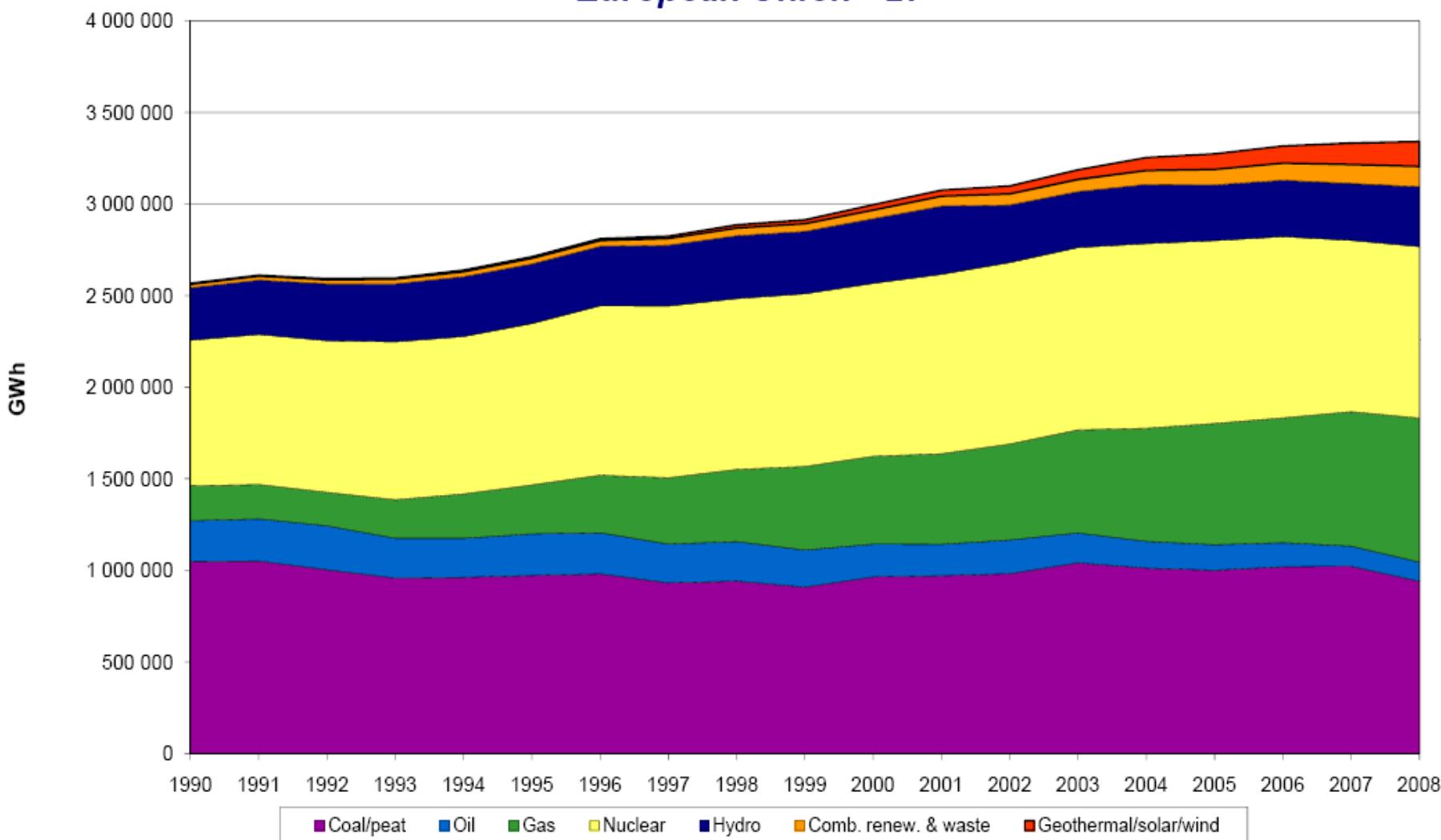
Electricity generation by fuel

World



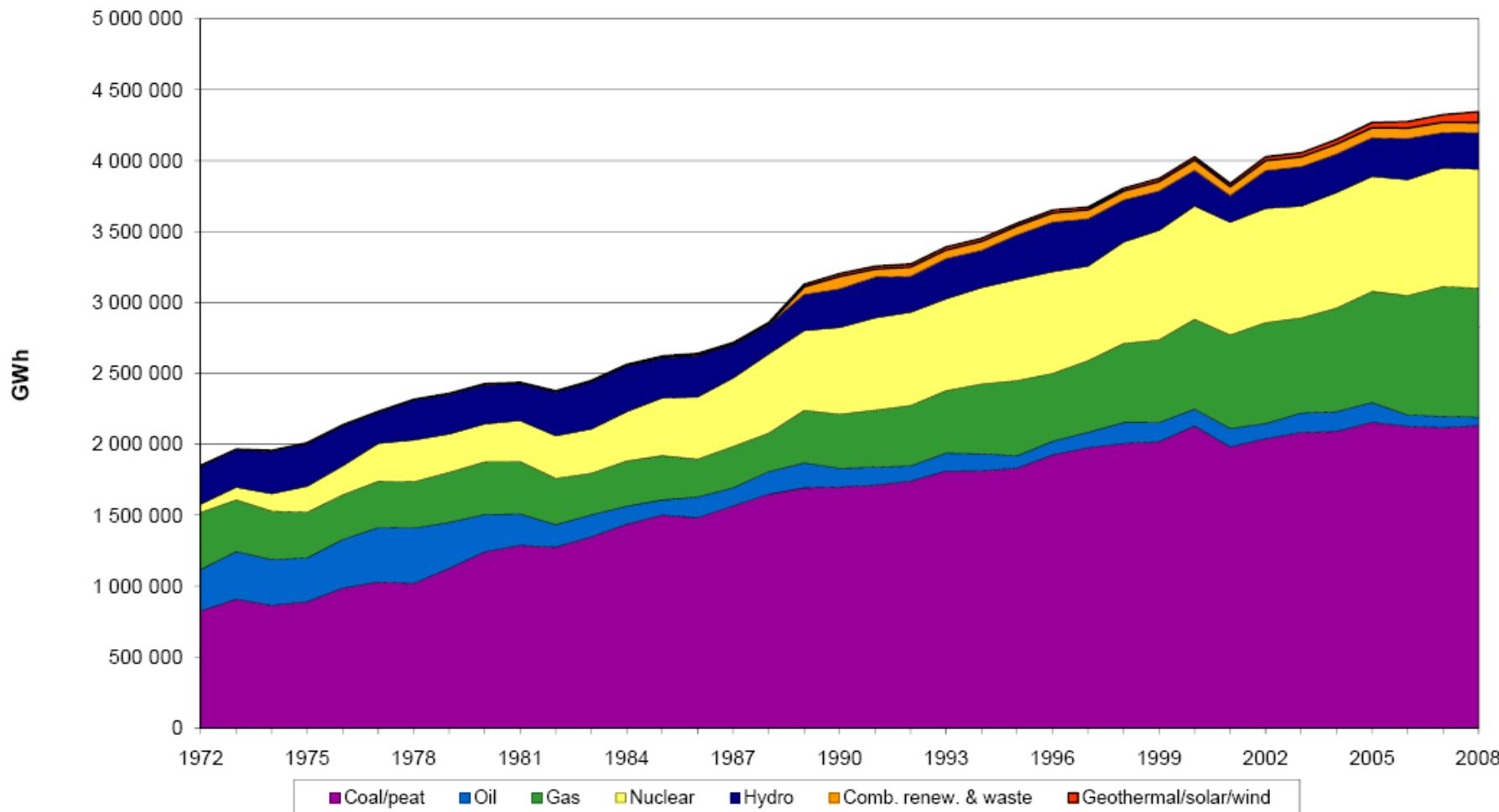
Electricity generation by fuel

European Union - 27





Electricity generation by fuel

United States



Electricity generation by fuel

Chile

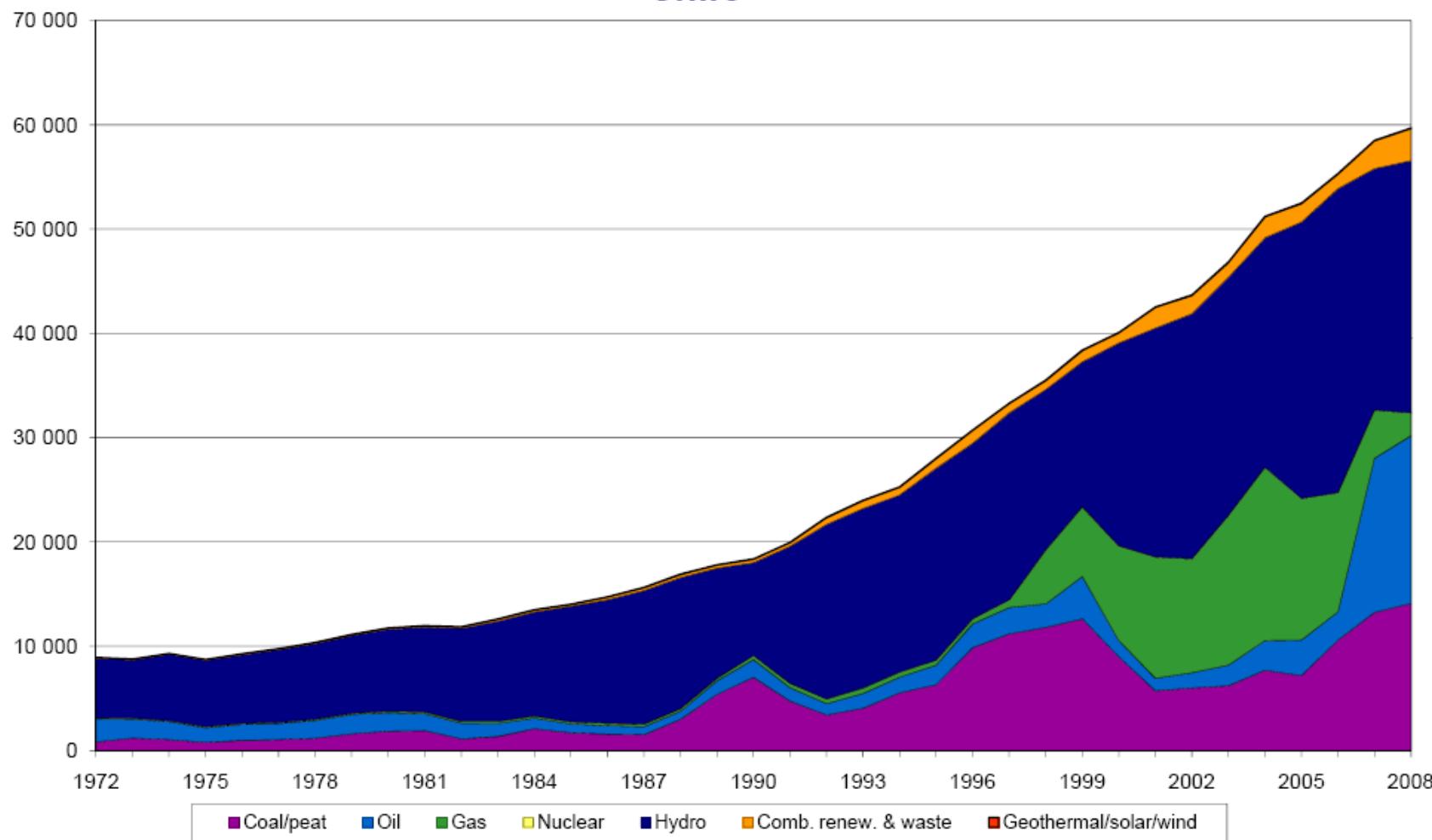


TABLE 1. NUCLEAR POWER REACTORS IN OPERATION AND UNDER CONSTRUCTION, 31 DEC. 2005

| Country | Reactors In Operation | | Reactors under Construction | | Nuclear Electricity Supplied In 2005 | | Total Operating Experience to 31 Dec. 2005 | |
|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------------|------------|--|--------|
| | No of Units | Total MW(e) | No of Units | Total MW(e) | TW(e).h | % of Total | Years | Months |
| ARGENTINA | 2 | 935 | | 1 | 692 | 6.37 | 54 | 7 |
| ARMENIA | 1 | 376 | | | 2.50 | 42.74 | 38 | 3 |
| BELGIUM | 7 | 5801 | | | 45.34 | 55.63 | 205 | 7 |
| BRAZIL | 2 | 1901 | | | 9.85 | 2.46 | 29 | 3 |
| BULGARIA | 4 | 2722 | | 2 | 1906 | 17.34 | 137 | 3 |
| CANADA | 18 | 12599 | | | 86.83 | 14.63 | 534 | 7 |
| CHINA | 9 | 6572 | | 3 | 50.33 | 2.03 | 56 | 11 |
| CZECH R. | 6 | 3368 | | | 23.25 | 30.52 | 86 | 10 |
| FINLAND | 4 | 2676 | | 1 | 1600 | 22.33 | 32.91 | 107 |
| FRANCE | 59 | 63363 | | | 430.90 | 78.45 | 1464 | 2 |
| GERMANY | 17 | 20339 | | | 154.61 | 30.98 | 683 | 5 |
| HUNGARY | 4 | 1755 | | | 13.02 | 37.15 | 82 | 2 |
| INDIA | 15 | 3040 | | 8 | 3602 | 15.73 | 252 | 0 |
| IRAN | | | | 1 | 915 | | 0 | 0 |
| JAPAN | 56 | 47839 | | 1 | 866 | 280.67 | 29.33 | 1231 |
| KOREA RP | 20 | 16810 | | | 139.29 | 44.67 | 259 | 8 |
| LITHUANIA | 1 | 1185 | | | 10.30 | 69.99 | 39 | 6 |
| MEXICO | 2 | 1310 | | | 10.80 | 5.01 | 27 | 11 |
| NETHERLANDS | 1 | 449 | | | 3.77 | 3.91 | 61 | 0 |
| PAKISTAN | 2 | 425 | | 1 | 300 | 2.41 | 280 | 10 |

TABLE 1. NUCLEAR POWER REACTORS IN OPERATION AND UNDER CONSTRUCTION, 31 DEC. 2005 — continued

| Country | Reactors In Operation | | Reactors under Construction | | Nuclear Electricity Supplied In 2005 | | Total Operating Experience to 31 Dec. 2005 | |
|-----------|-----------------------|-------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------------|------------|--|--------|
| | No of Units | Total MW(e) | No of Units | Total MW(e) | TW(e).h | % of Total | Years | Months |
| ROMANIA | 1 | 655 | | 1 | 655 | 5.11 | 8.58 | 5 |
| RUSSIA | 31 | 21743 | | 4 | 3775 | 137.27 | 15.78 | 870 |
| SAFRICA | 2 | 1800 | | | | 12.24 | 5.52 | 42 |
| SLOVAKIA | 6 | 2442 | | | | 16.34 | 56.05 | 112 |
| SLOVENIA | 1 | 656 | | | | 5.61 | 42.35 | 3 |
| SPAIN | 9 | 7588 | | | | 54.70 | 19.55 | 237 |
| SWEDEN | 10 | 8910 | | | | 70.00 | 46.67 | 332 |
| SWITZERLD | 5 | 3220 | | | | 22.11 | 32.09 | 153 |
| UK | 23 | 11852 | | | | 75.17 | 19.86 | 1377 |
| UKRAINE | 15 | 13107 | | 2 | 1900 | 83.29 | 48.48 | 308 |
| USA | 104 | 98210 | | | | 780.47 | 19.33 | 3079 |
| Total | 443 | 369552 | | 27 | 21811 | 2626.35 | 19.28 | 12085 |

Note: The total includes the following data in Taiwan, China:

— 6 units, 4904 MW(e) in operation; 2 units, 2500 MW(e) under construction;

— 38.4 TW(e).h of nuclear electricity generation, representing 20.25% of the total electricity generated there;

— 145 years 1 month of total operating experience.

The total share is related only to the countries with NPPs in operation.

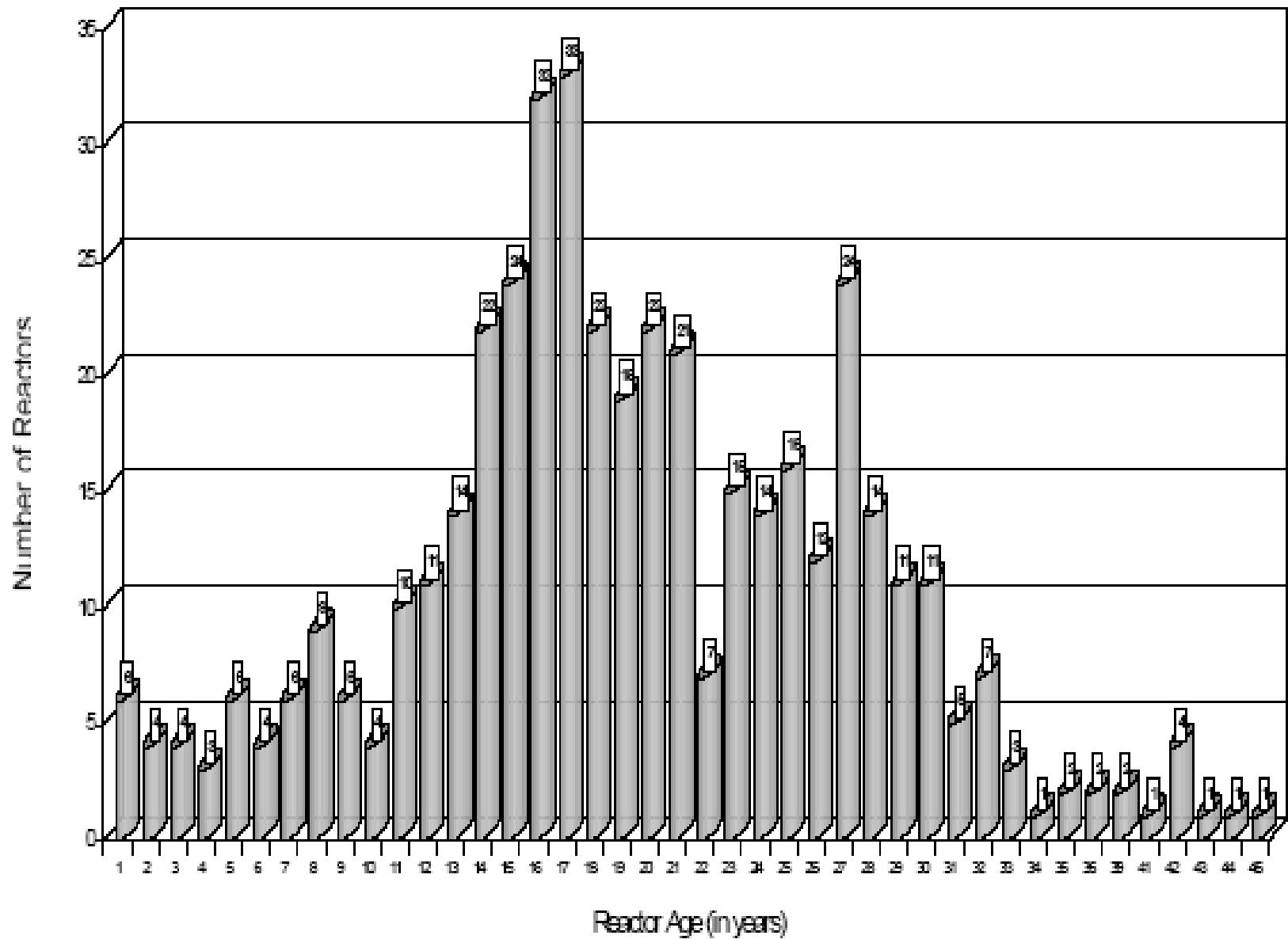


FIG. 1. Distribution of operating reactor units by age — as of 31 December 2001.

Table 3. Distribution of the net electrical power by reactor type and age group as of the end of 2001 [7]

[GWe]

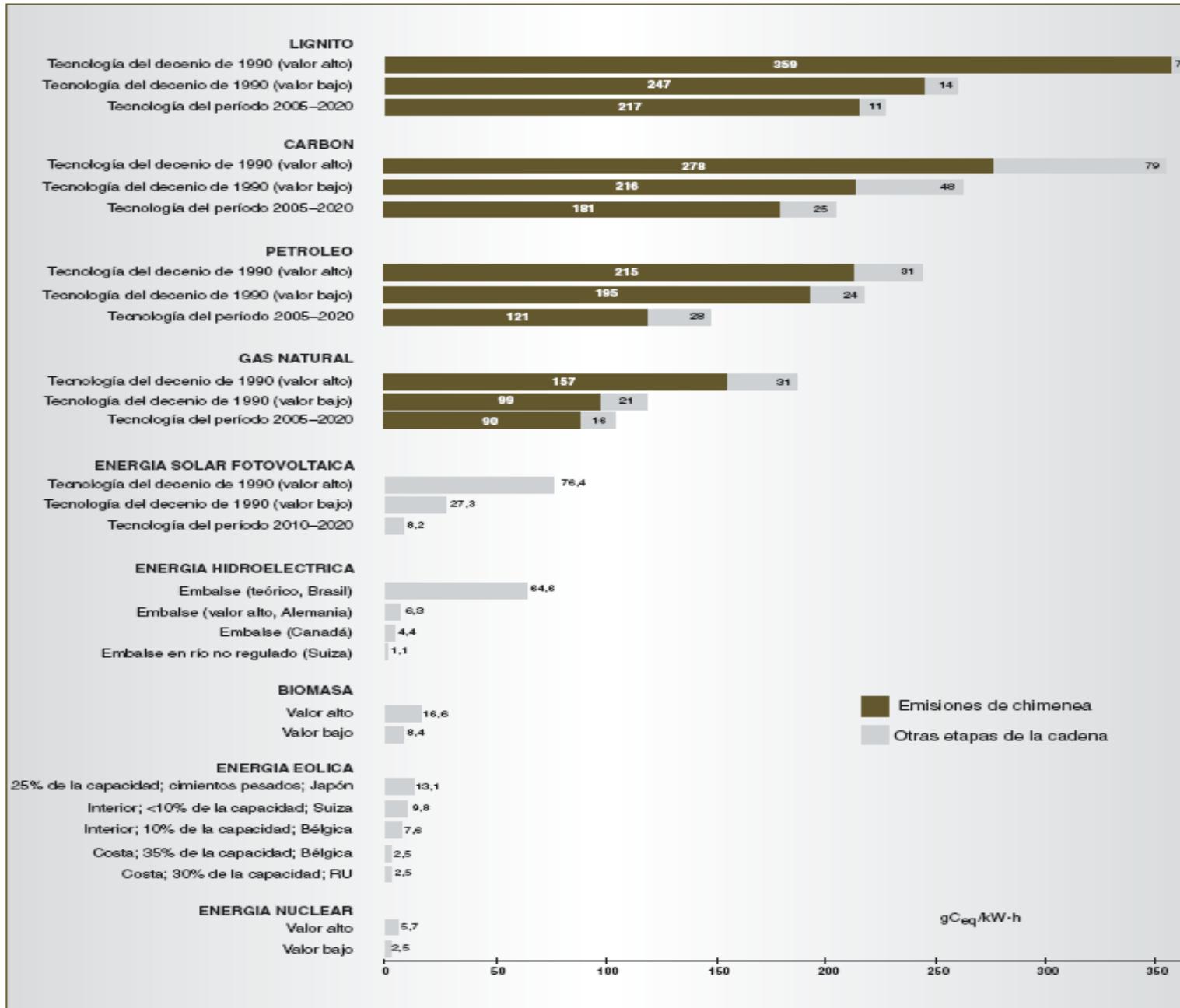
| | PWR | BWR | WWER | LWGR | PHWR | AGR | GCR | FBR | Others | Total |
|----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|---------|
| 41< Reactor age < 45 years | | | | | | 0.40 | | | | 0.40 |
| 36< Reactor age < 40 years | | | | | | 1.12 | | | | 1.12 |
| 31< Reactor age < 35 years | 3.99 | 4.93 | | | | 0.92 | | | | 9.85 |
| 26< Reactor age < 30 years | 24.99 | 15.62 | 2.41 | 1.88 | 0.55 | 1.21 | 0.49 | 0.23 | | 47.37 |
| 21< Reactor age < 25 years | 37.73 | 15.38 | 3.91 | 3.71 | 0.19 | 1.21 | | 0.56 | 0.148 | 62.83 |
| 16< Reactor age < 20 years | 64.81 | 24.71 | 10.67 | 4.89 | 7.23 | 0.55 | | 0.25 | | 113.10 |
| 11< Reactor age <15 years | 41.84 | 11.24 | 10.36 | 2.11 | 1.87 | 5.42 | | | | 72.84 |
| Reactor age 0 - 10 years | 25.01 | 6.01 | 5.49 | 0.00 | 6.66 | 0.00 | | | 2.63 | 45.80 |
| TOTAL | 198.36 | 77.88 | 32.83 | 12.59 | 16.50 | 8.38 | 2.93 | 1.04 | 2.78 | 353.298 |

Emisión de CO₂

| Fuente | CO ₂ liberado (por cada 1000 MWh) |
|-------------|--|
| Carbón | 940 t |
| Petróleo | 798 t |
| Gas Natural | 581 t |
| Nuclear | 0 |



Durante 2005, los 2.6 M de GWh generados por la EN evitaron la Emisión de más de 2 mil millones de toneladas de CO₂



Escala de las emisiones totales de gases de efecto invernadero producidos por las cadenas de generación de electricidad (Fuente: Spadaro, Joseph V., Lucille Langlois, y Bruce Hamilton, 2000: "Evaluación de la diferencia: Emisiones de gases de efecto invernadero producidos por las cadenas de generación de electricidad", Boletín del OIEA, Vol. 42, No. 2, Viena, Austria).

Millones de toneladas
por GW(e)

Desechos generados anualmente
en la elaboración de combustible
y el funcionamiento de las centrales

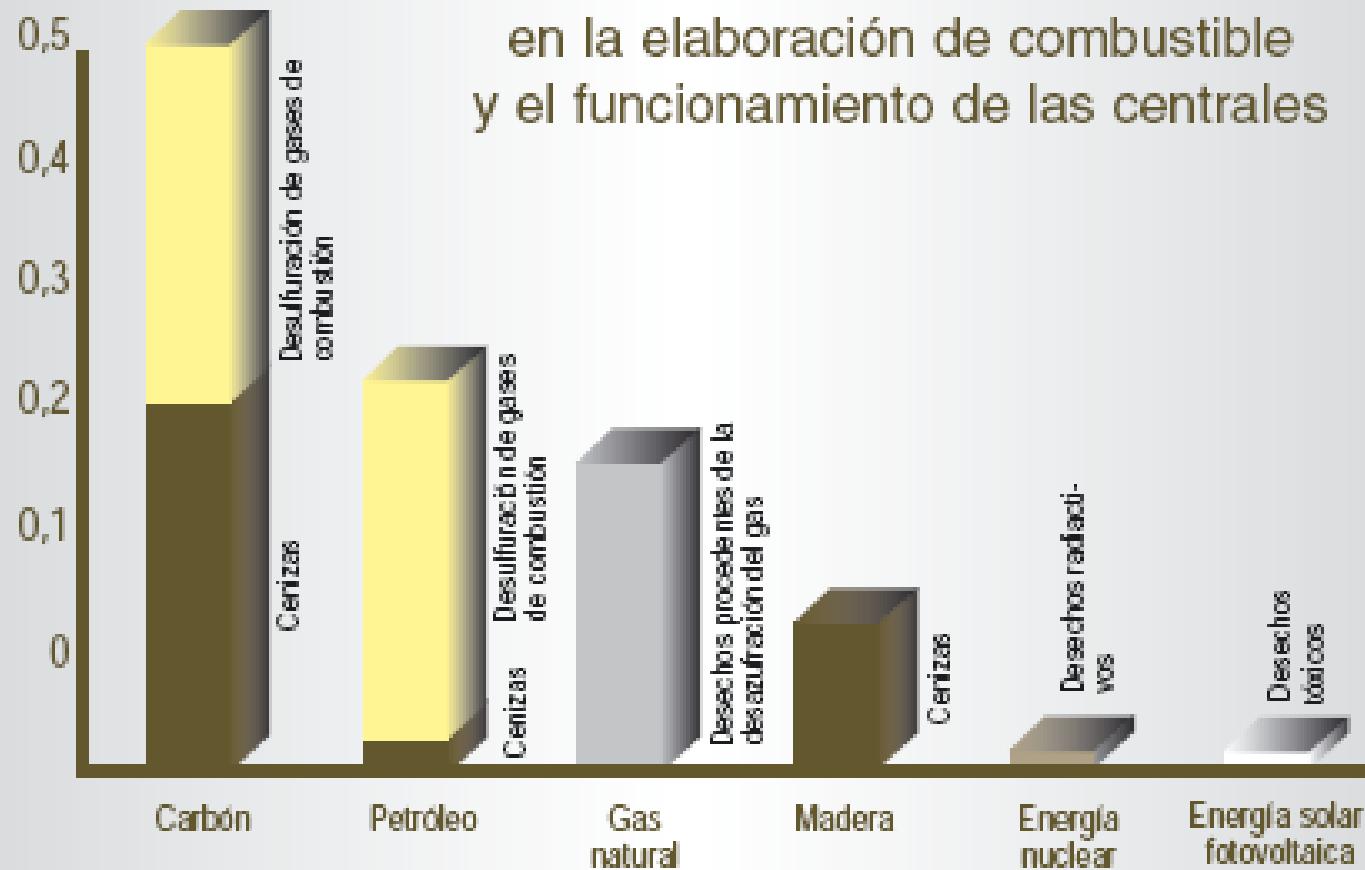


Tabla 4: Impactos Ambientales Comparados de las distintas fuentes de energía

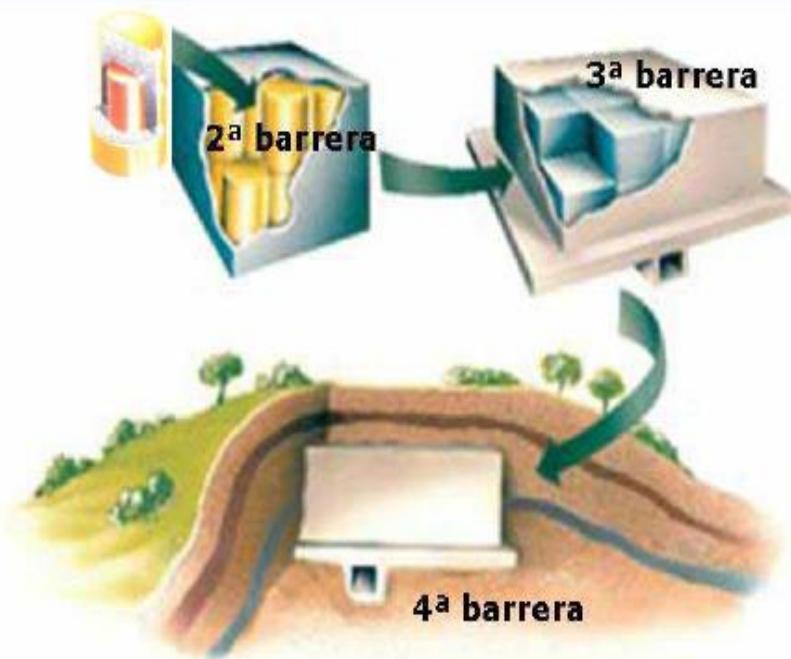
| Fuente de Energía | Emisión de CO ₂ eq (Ton/GWH) | Alteración de Ecosistemas | Superficie (Ha) | Alteración del Paisaje | Generación de Residuos |
|-----------------------|---|--|----------------------|------------------------|---|
| Carbón | 1058 | Toma y descarga de agua de refrigeración. | 100 – 400 | Reducido | Altos volúmenes de cenizas y escoria. |
| Petróleo | 742 | Toma y descarga de agua de refrigeración. | 100 – 400 | Reducido | Volumen medio de residuos tóxicos. |
| Gas Natural | 608 | Toma y descarga de agua de refrigeración. | 100 – 400 | Reducido | No significativo |
| Geotérmica | 56,8 | Ampliamente variable | Ampliamente variable | Reducido | No significativo |
| Nuclear | 8,6 | Toma y descarga de agua de refrigeración. | 100 – 400 | Reducido | Bajo volumen de residuos radiactivos. |
| Eólica | 7,4 | Alteración de los patrones de circulación atmosférica. | 5.000 – 15.000 | Significativo | No significativo |
| Hidráulica de Embalse | 6,6 | Pérdida del ecosistema acuático y terrestre. | 10.000 – 15.000 | Significativo | No significativo |
| Solar Fotovoltaica | 5,9 | No Aplica | 2.000 – 5.000 | Significativo | Bajo volumen de residuos tóxicos ¹ . |
| Solar Térmica | 3,6 | No Aplica | 2.000 – 5.000 | Significativo | No significativo |

Nota 1: Todos los impactos están estimados considerando generación de 1.000 MW (1 GW).

Nota 2: Los niveles de emisión de CO₂ consideran el ciclo completo de la energía.

Fuentes: AIE, DOE, Council for Renewables Energy Education y Worldwatch Institute, CRIEPI

Repository close to the surface with multiple barriers



- 1ª BARRERA
Acondicionamiento
- 2ª barrera :
Contenedores
donde se aloja
- 3ª BARRERA :
Estructuras de
Ingeniería.
- 4ª BARRERA :
Medio geológico

Instalaciones típicas



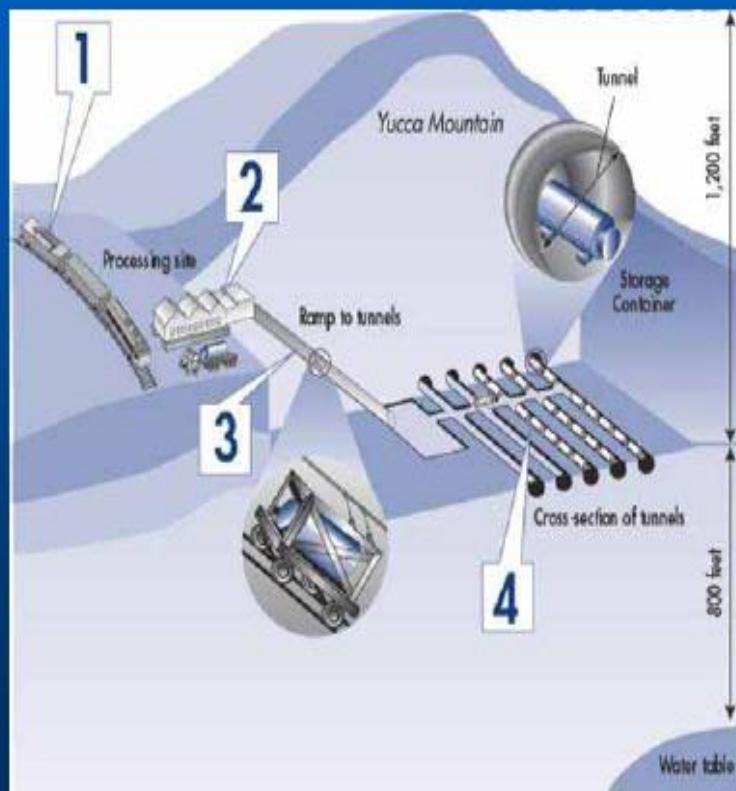
El Cabril, España



Centre l'Aube, Francia

Yucca Mountain: diseño conceptual de funcionamiento

1. *Traslado de los contenedores en cascos especiales de transporte*
2. *Remoción de los cascos de transporte*
3. *Introducción automática a los túneles*
4. *Almacenamiento en túneles paralelos, a 366 m de la superficie*
- *El manto freático queda 244 m por debajo de los túneles de almacenamiento.*



filosofía de seguridad

Marzo de 1979.
*Isla de las Tres Millas,
EUA*
**Reactor PWR, 792 MWe
(agua ligera a presión).**



Abril de 1986.
*Chernobyl, antigua
URSS*
**Reactor RBMK, 1000 MWe
(grafito-agua ligera).**

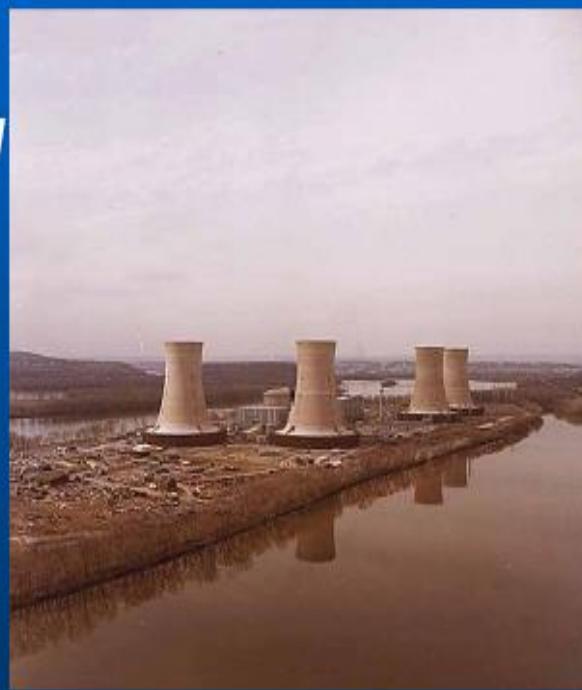
Chernobil: principales causas

- *Experimento fuera de procedimientos*
- *Diseño con reactividad positiva*
- *Bloqueo de sistemas de seguridad*



Accidente en Tres Millas: cero consecuencias

- *No se liberó material radiactivo al ambiente*
- *No se afectó la salud de las personas*
- *Se modificó profundamente la reglamentación*



| Fuente de Energía | Número de accidentes severos | Número de fatalidades directas por GW año | | |
|-------------------------------|------------------------------|---|-------|---------|
| | | Mundo | OCDE | No OCDE |
| Carbón | 1.221 | 0,876 | 0,185 | 1,576 |
| Carbón (sin China) | 177 | 0,69 | | 0,589 |
| Petróleo | 397 | 0,436 | 0,392 | 0,502 |
| Gas Natural | 125 | 0,093 | 0,091 | 0,096 |
| Hidro | 11 | 4,265 | 0,003 | 10,285 |
| Hidro (sin Banqiao/Shimantan) | 10 | 0,561 | | 1,349 |
| Nuclear | 1 | 0,006 | 0 | 0,048 |

Gráfico 17: Respuestas a la pregunta ¿Estaría usted de acuerdo con la construcción de una central nuclear en Chile? (%)

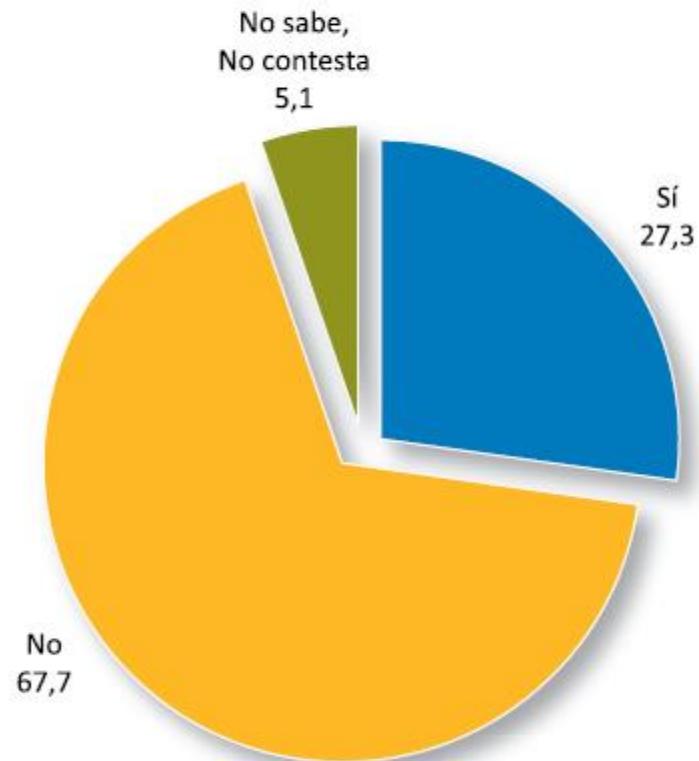


Tabla 9: Resultados Encuesta Nacional de Percepción Ciudadana

| | Carbón | Gas Natural | Eólica | Hidroeléctrica | Nuclear | Solar |
|------------------------------------|--------|-------------|--------|----------------|---------|-------|
| La más limpia | 0,4 | 3,7 | 32,4 | 12,0 | 1,1 | 48,3 |
| La menos limpia | 66,2 | 3,3 | 1,2 | 4,1 | 22,1 | 1,2 |
| La que mejor asegura el suministro | 2,1 | 19,6 | 7,9 | 37,4 | 6,2 | 21,2 |
| La que no asegura el suministro | 31,5 | 21,9 | 8,3 | 8,9 | 9,7 | 11,4 |
| La más peligrosa | 17,8 | 14,3 | ,9 | 3,9 | 59,0 | 1,5 |
| La menos peligrosa | 4,3 | 8,0 | 29,0 | 13,7 | 1,7 | 40,8 |
| La más cara | 2,7 | 17,6 | 3,8 | 34,7 | 24,3 | 7,0 |
| La más barata | 29,3 | 6,7 | 13,3 | 8,4 | 2,1 | 33,7 |
| La más potente | 1,7 | 8,3 | 1,6 | 31,1 | 36,9 | 12,7 |
| La menos potente | 44,6 | 6,2 | 17,5 | 3,0 | 1,8 | 18,3 |

Nota: Las cifras corresponden a % de menciones espontáneas. La suma de las respuestas no da 100%. La diferencia corresponde a quienes mencionaron otra fuente de energía o señalaron no saber.

Fuente: Tironi y Asociados (2009).

En términos de conocimiento, se aprecia una desinformación generalizada en relación con las distintas fuentes de energía y con la energía nuclear en particular. Por ejemplo, un 34% de los encuestados señaló que en términos de costo, la energía solar es la más barata, mientras que un 35% indicó a la energía hidráulica como la más cara, cuando la realidad muestra justamente lo contrario.

En el caso de la energía nuclear, si bien un 37% de los encuestados la identifica como la fuente más potente, al mismo tiempo un 24% piensa que es la más cara y un 22% la señala como la menos limpia. Esto último revela un profundo desconocimiento con respecto a sus costos de generación y a sus niveles de emisión de GEI, los cuales en ambos casos son relativamente bajos.

En cuanto a las actitudes, gran parte de la población muestra una aproximación negativa hacia la energía nuclear. Ello se debe en gran medida a que esta tecnología es principalmente percibida como riesgosa. El 23% de los encuestados asoció la energía nuclear a “destrucción”, un 22% a “peligro” y un 15% a “contaminación por desechos tóxicos”. Por el contrario, sólo un 17% de los encuestados asoció la energía nuclear con conceptos positivos, como por ejemplo “alternativa energética”, “desarrollo científico” o “potencia energética”.

Esta percepción negativa presenta una importante carga simbólica y está fuertemente mediatisada y marcada por el temor, asociado principalmente a posibles accidentes, a la gestión de los residuos y a potenciales usos bélicos. Entre los encuestados que se manifestaron en contra que se construyera una central nuclear, un 89% señaló que en caso que se construyera se dañaría el medioambiente debido a los residuos. Asimismo, un 74% dentro de este mismo grupo opinó que existiría un alto riesgo que ocurriera un accidente radioactivo y casi un 60% que se podría usar la planta para fines militares.

III. Energía nuclear en América Latina

- 3%** de la energía eléctrica de América Latina proviene de fuentes nucleares, pero si prosperan los planes de expansión de Argentina, Brasil y México, esa proporción podría duplicarse.
- Brasil** se propone instalar su tercer reactor, mientras Argentina y México pasarán de dos a cuatro.
- Gobierno Argentino** presenta ahora un plan por el que pretenden aumentar la producción de energía nuclear del **9%** del total de la energía que consume el país, al **16%**.
 - Con este objeto a más tardar en 2010, la central Atucha II estará en funcionamiento y se destinará una inversión de 1.800 millones de dólares.
 - Con vistas a una cuarta central se prevé aumentar la inversión total hasta los 3.500 millones de dólares (2.733 millones de euros) y sumar así 1.600 megavatios al sistema (ahora, por la red energética nacional circulan 23.000 megavatios).

Atucha II y I - Argentina

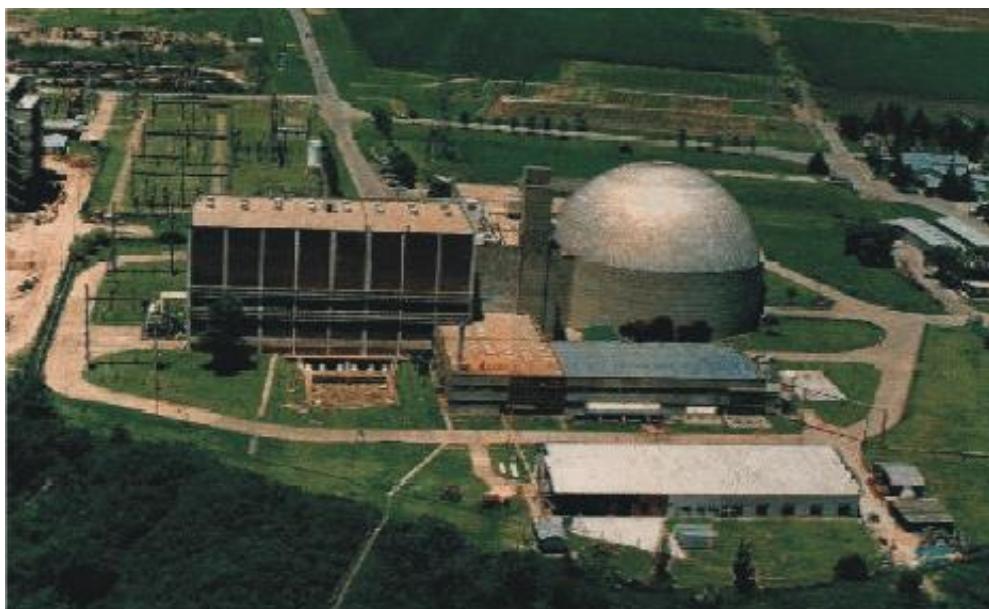




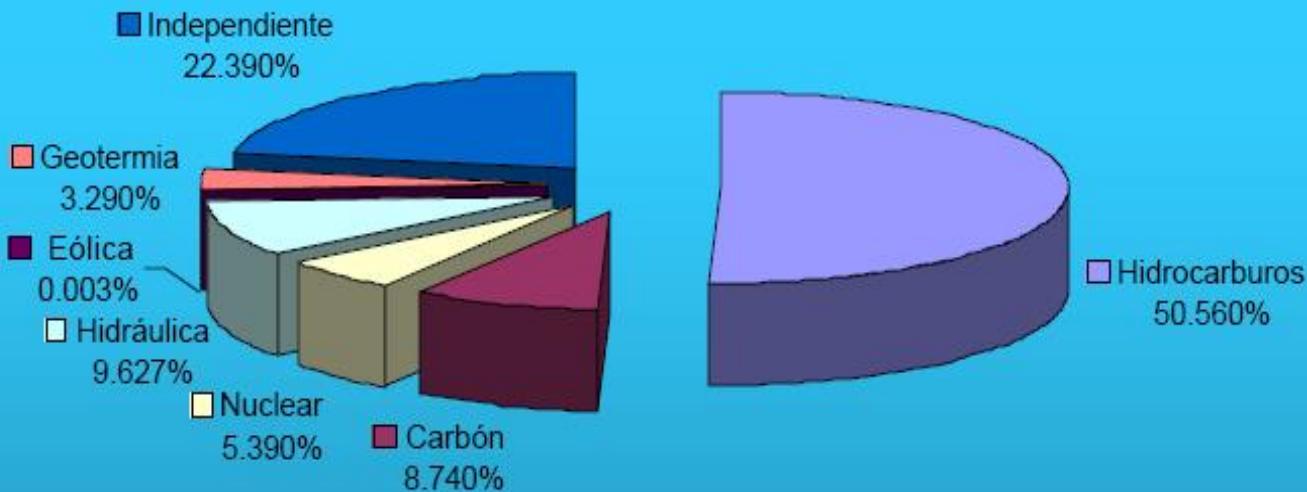
Figura 18: Vista de la Central Nuclear Embalse desde el Lago, en Río Tercero - Pcia. de Córdoba



Argentina finalizará la construcción de la central nuclear ATUCHA II, ubicada al lado de Atucha I. (Foto: sitio electrónico de Delta en Kayak).

Generación Eléctrica en México

205.39 TWh



Reactores Tercera Generación

- Características de seguridad pasivas o inherentes.
- Diseño estandarizado, técnicas de construcción modular y “top to bottom”.
- Tiempo de puesta en línea de 5 años a partir de la solicitud, con tiempos de construcción de 3 a 4 años.
- Diseño simplificado (fácil operación y menor vulnerabilidad a fallas operacionales).
- Mayor factor de planta ($> 85\%$) y mayor tiempo de vida útil *hasta 60 años*.
- Con un “overnight cost” de 1100 a 1500 USD/kWe para la primera unidad, con la posibilidad de reducción de costo para las siguientes unidades.

Reactores Considerados

| Tipo de Reactor | País que lo desarrolló | Potencia MWe |
|-----------------|-----------------------------------|--------------|
| ABWR | EUA-JAPON Hitachi-GE-Toshiba | 1356 |
| ACR | CANADA AECL | 1506* |
| AP1000 | EUA Westinghouse | 1117 |
| EPR | FRANCIA-ALEMANIA FRAMATOME ANP | 1600 |

*Basado en dos unidades gemelas de 753 MWe c/u.

Laguna Verde - México



IV. Energía en Chile

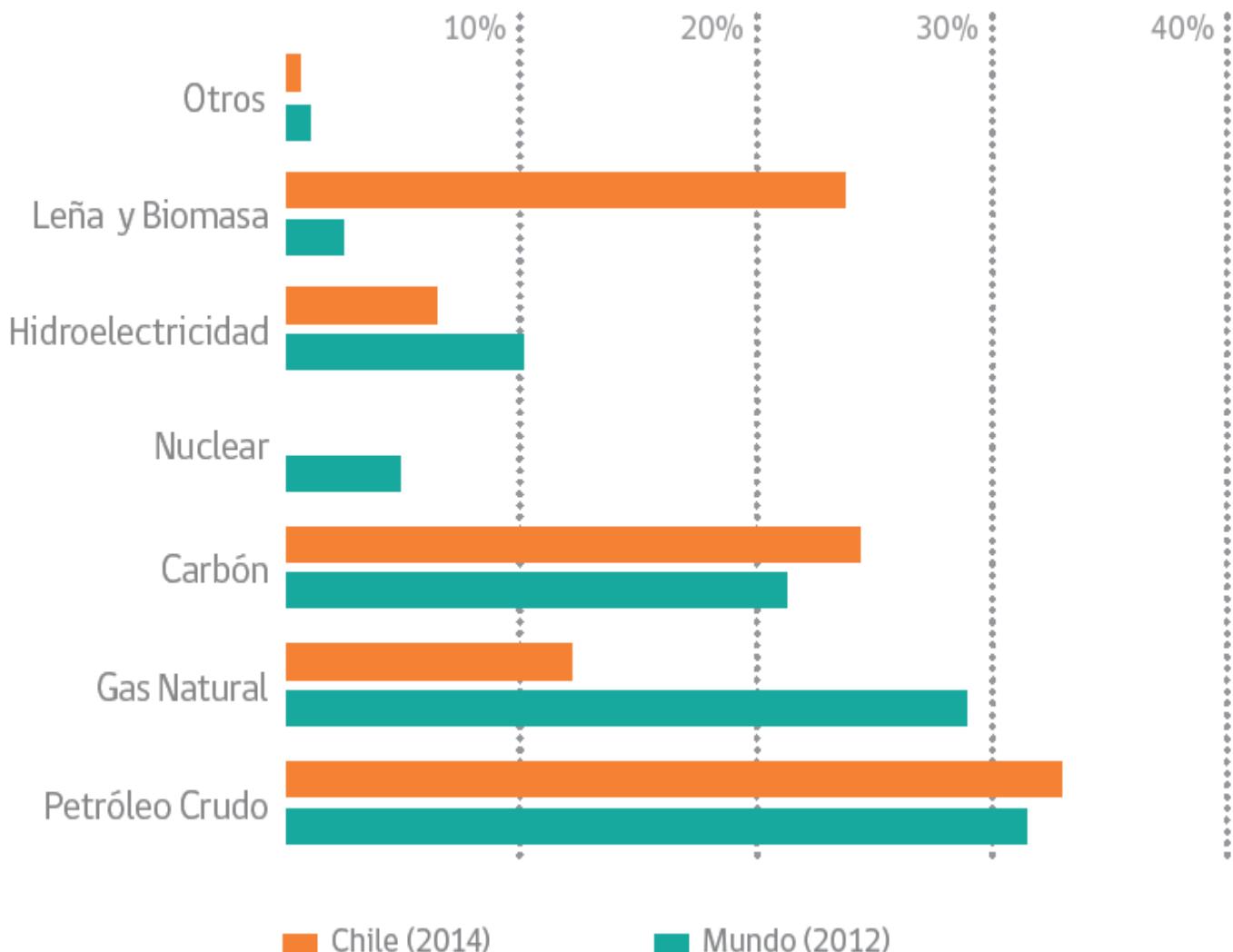
- Las ¾ partes de las fuentes de energía primaria a nivel mundial son de origen fósil, todas emisoras de CO₂. Las energías nucleoeléctrica e hidroeléctrica, que no emiten estos gases, suman 12% y todas las demás renovables juntas sólo generan entre el 0.8 y 1.2%.
- Chile debe diversificar sus fuentes de energía sustentable. Nuestro país duplica su demanda cada 12 años lo cual se traduce en requerimientos de inversión de por lo menos 500 MW al año, y más aún a futuro.
- Se espera que a partir del año 2020, las necesidades anuales de energía sean de alrededor de 800MW. Para ese año, se estima que no quedarán grandes recursos hídricos disponibles.
- En la actualidad, la potencia instalada en el SIC es de 8.962 MW. Se estima que para el año 2020 dicha potencia instalada se duplique (alrededor de 16.600 MW), de los cuales alrededor de un 60% será hidroeléctrico y un 40% térmico3.

SING – Sistema Interconectado Norte Grande.

SIC – Sistema Interconectado Central

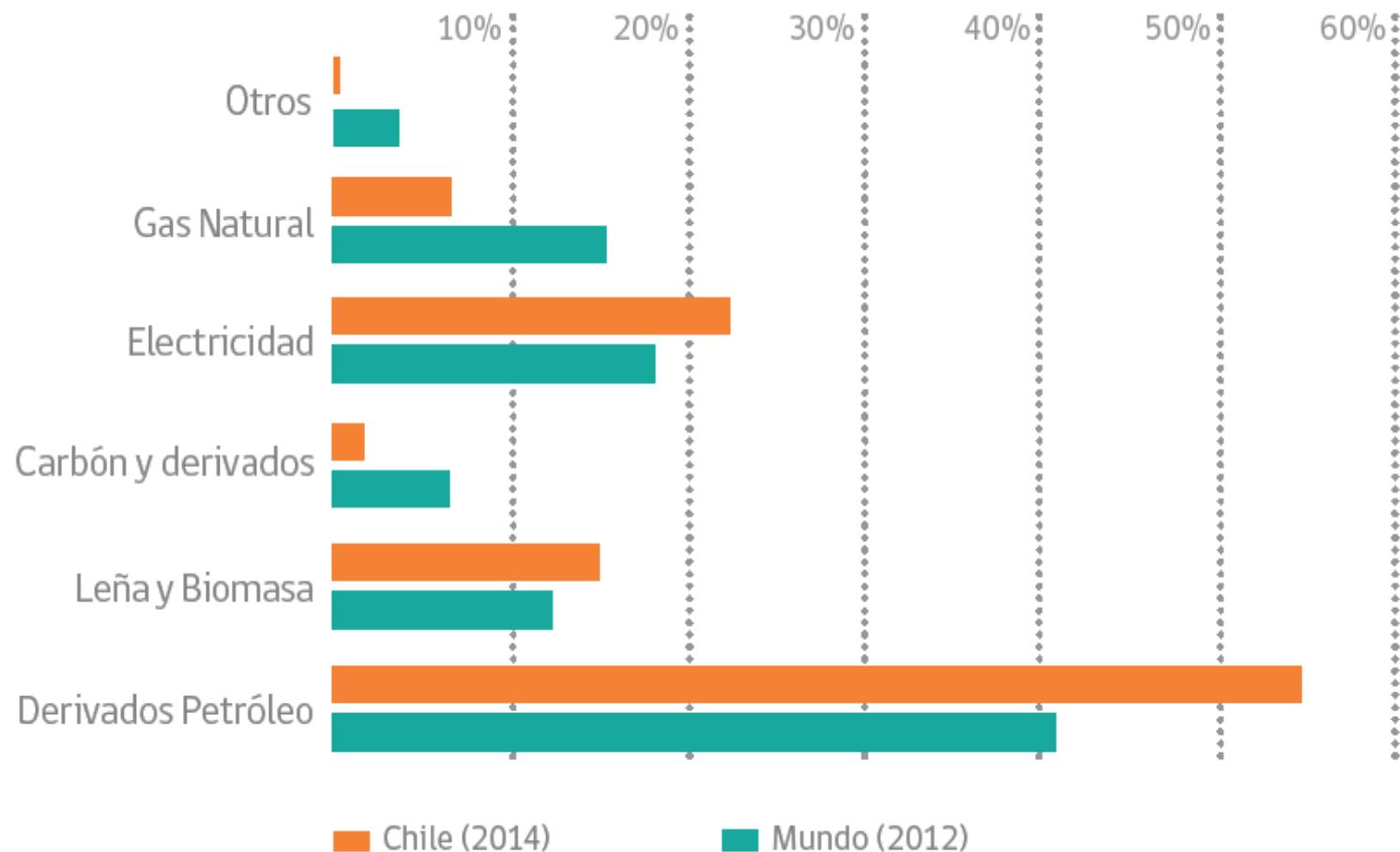
SZA - Sistema Zona Austral (XI y XII Región)

FIGURA 1: MATRIZ ENERGÉTICA PRIMARIA



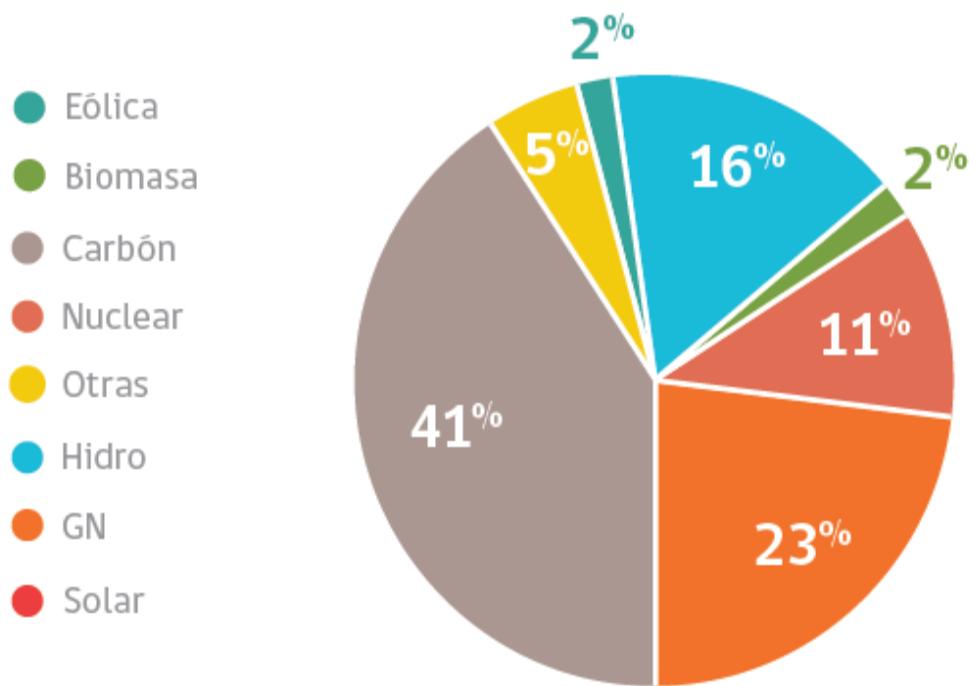
Fuente: IEA; Ministerio de Energía

FIGURA 2: MATRIZ ENERGÉTICA SECUNDARIA O DE CONSUMO FINAL

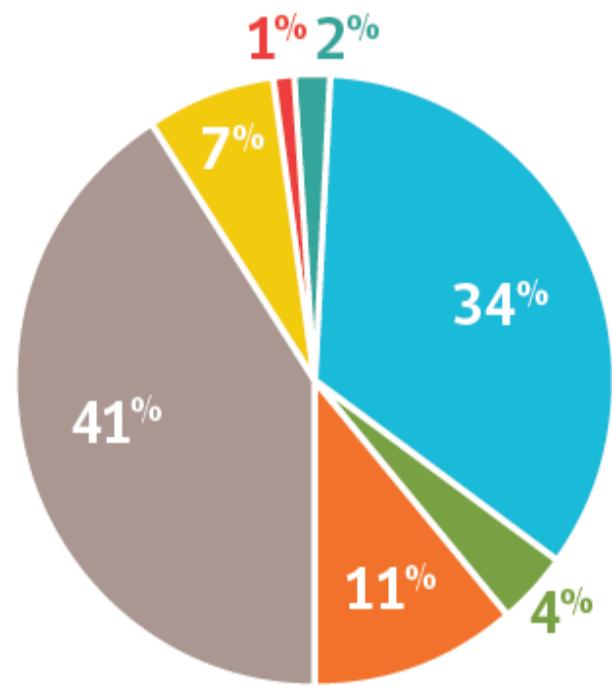


Fuente: IEA; Ministerio de Energía

EL MUNDO (2012)



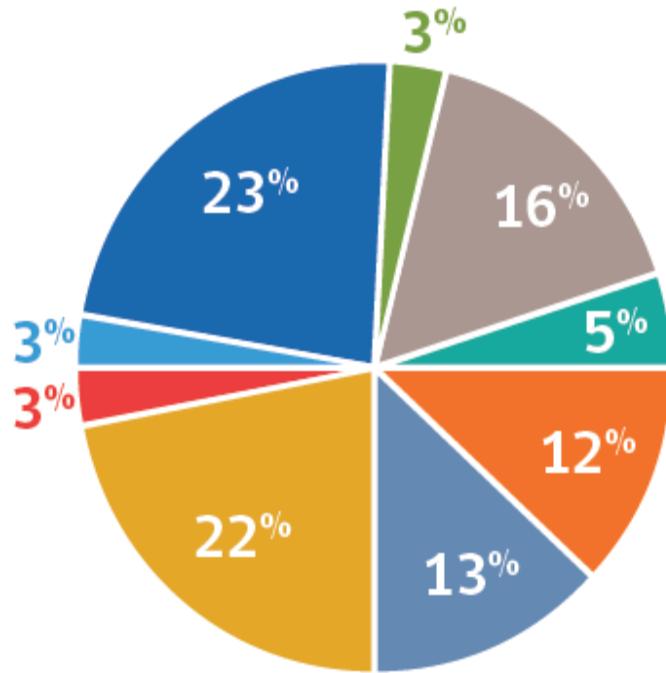
CHILE (2014)



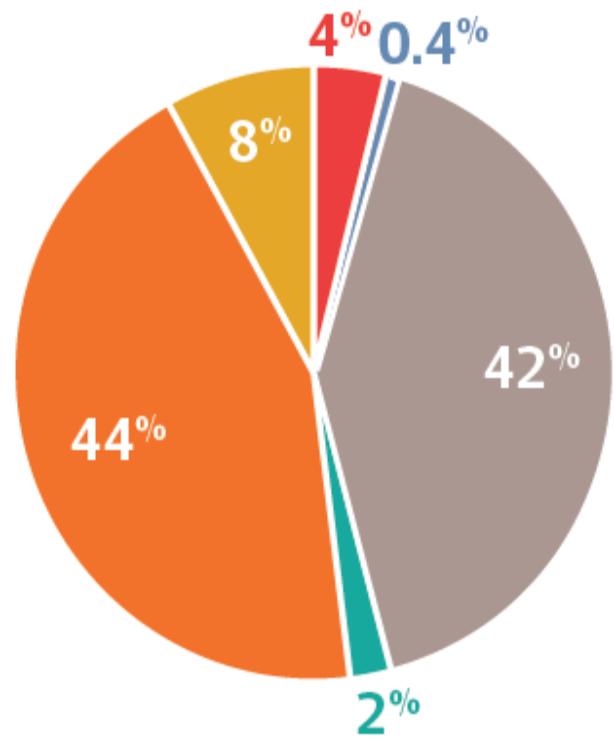
Fuente: IEA; Ministerio de Energía

- Eólica
- Biomasa
- Carbón
- Hidro Pasada
- Mini Hidro Pasada
- Hidro Embalse
- Solar FV
- Gas Natural
- Petróleo Diesel

SIC

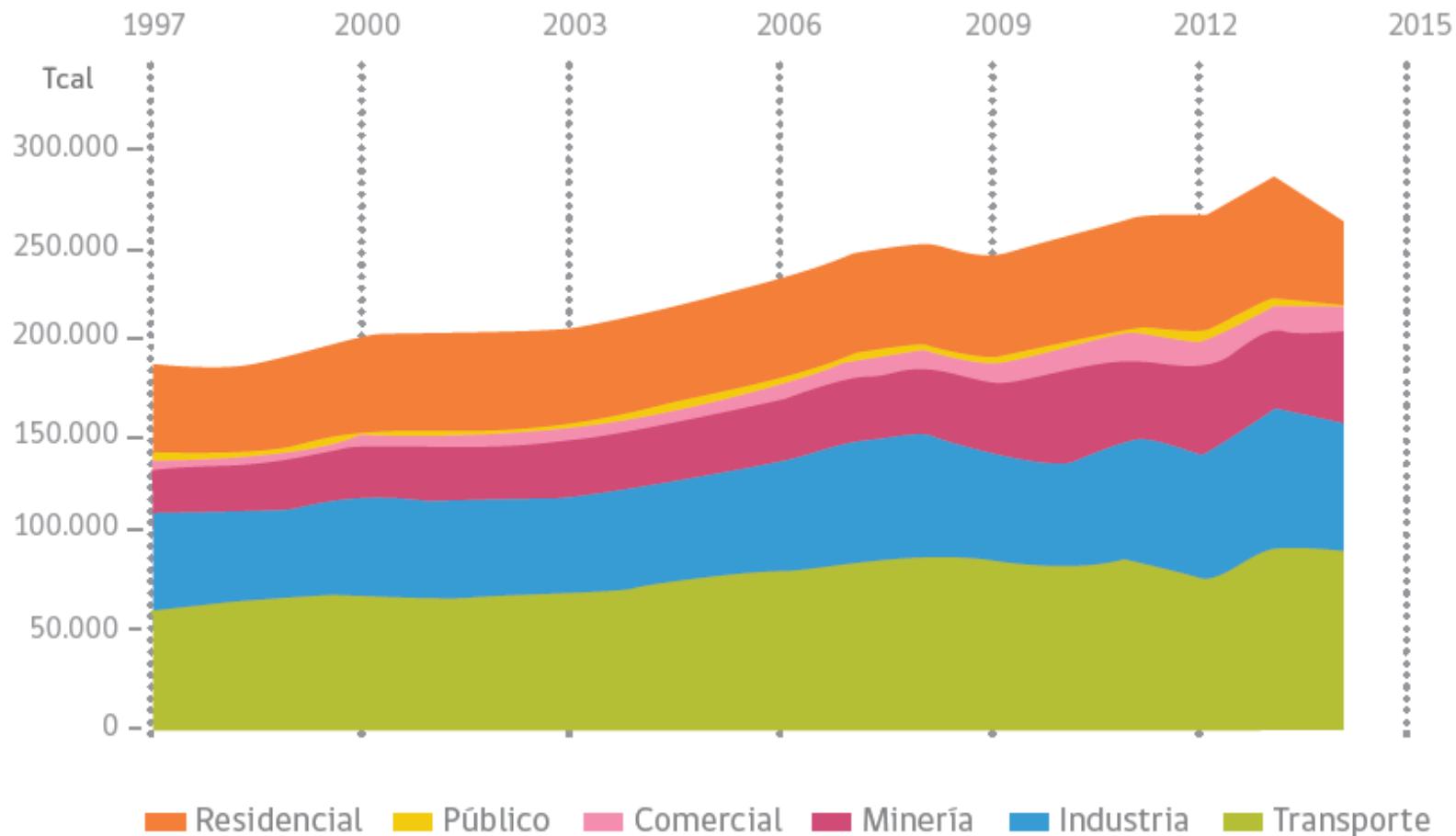


SING



Fuente: Energía Abierta

FIGURA 10: CONSUMO ENERGÉTICO FINAL HISTÓRICO POR SECTOR



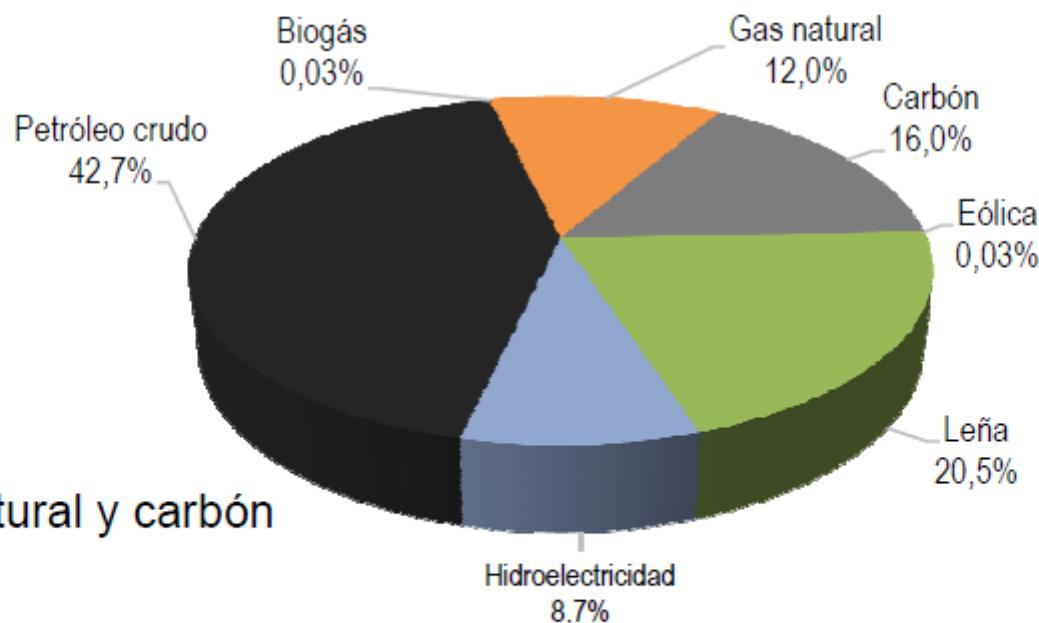
Fuente: Balance Nacional de Energía

Energía Primaria en Chile

Se denomina energía primaria a los recursos naturales disponibles en forma **directa o indirecta** para su uso energético

Consumo de energéticos primarios al año 2009

Cifras en % sobre un total de 249.569 Tcal.

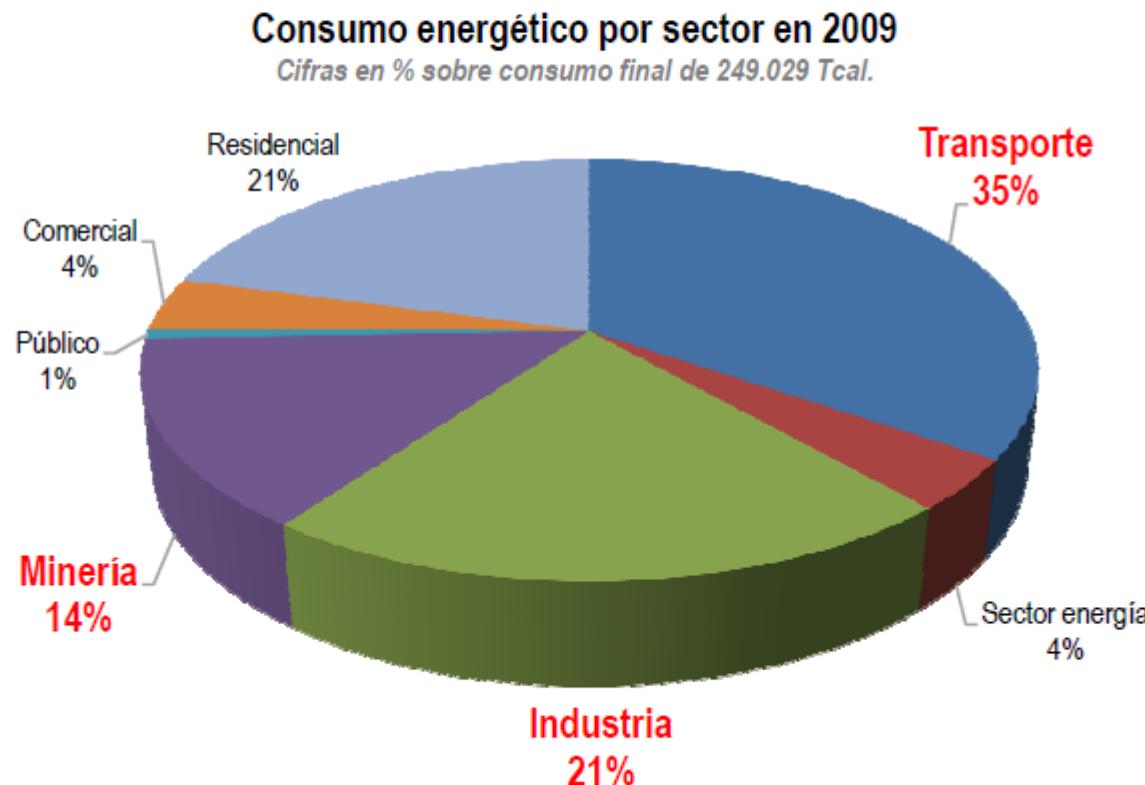


Petróleo, gas natural y carbón
son importados

Fuente: Elaboración propia sobre información publicada por la CNE, 2010.

¿Cómo se distribuye el consumo de energía?

- Los sectores con mayor consumo energético son **Transporte (35%)** e **Industria (21%)**

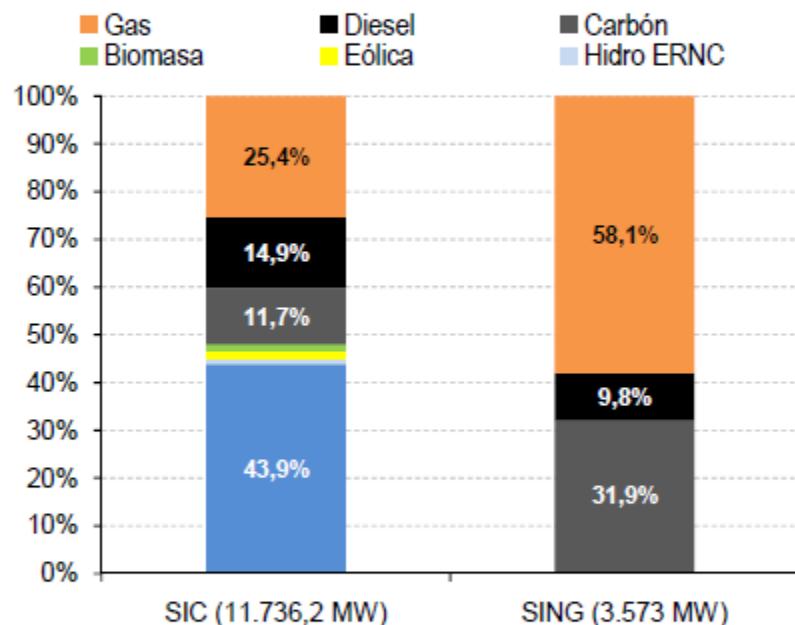


8 Fuente: Elaboración propia sobre información publicada por la CNE, 2010.

Matriz Eléctrica

Composición de la potencia instalada en el SING y SIC

Series en % del total de MW por sistema a julio de 2010



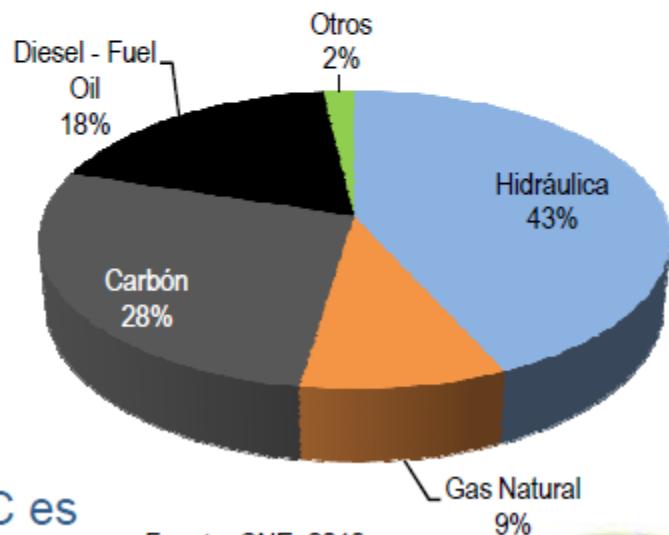
Potencia Instalada

SING → 99,6% termoeléctrico

SIC → 52% termoeléctrico

Generación eléctrica del SING y SIC

Series en % de un total de 57.320 GWh en 2009



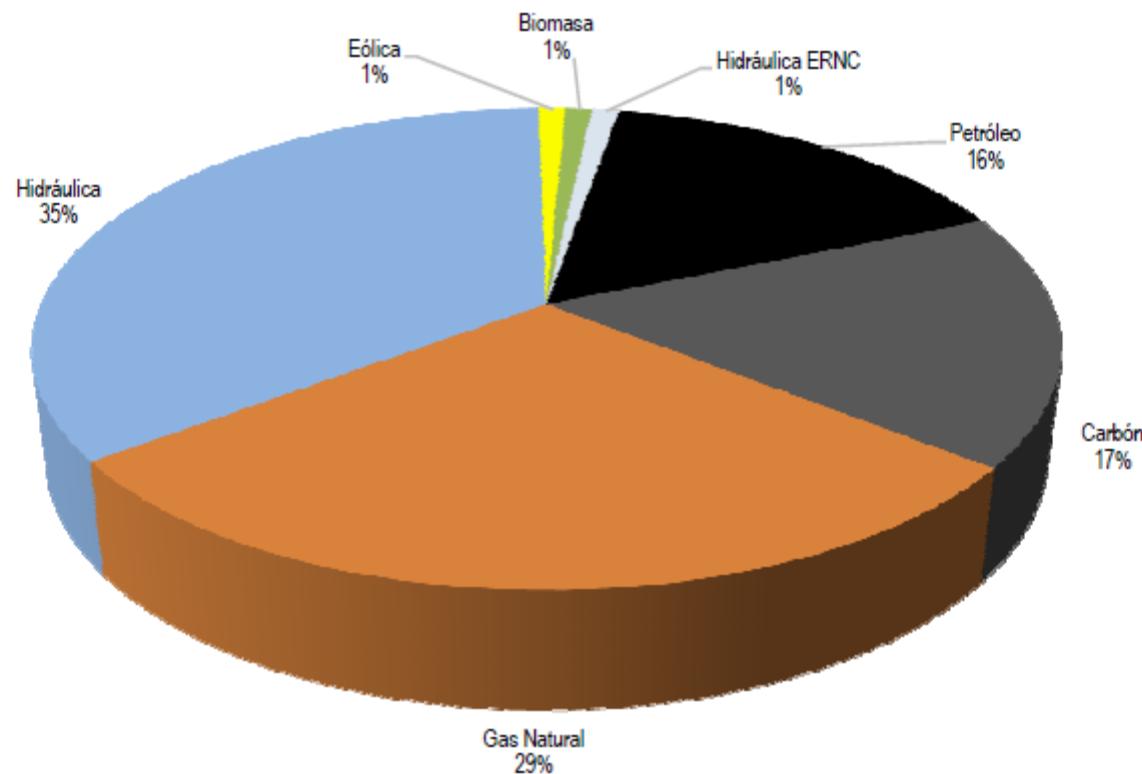
Fuente: Ministro de Energía, Ricardo Raineri. Exposición ante la Comisión de Medio Ambiente de la cámara de diputados, el día 01 de septiembre de 2010.

El 55% de la generación del SING y SIC es termoeléctrica

Fuente: CNE, 2010.

Capacidad instalada de generación eléctrica, Diciembre 2010

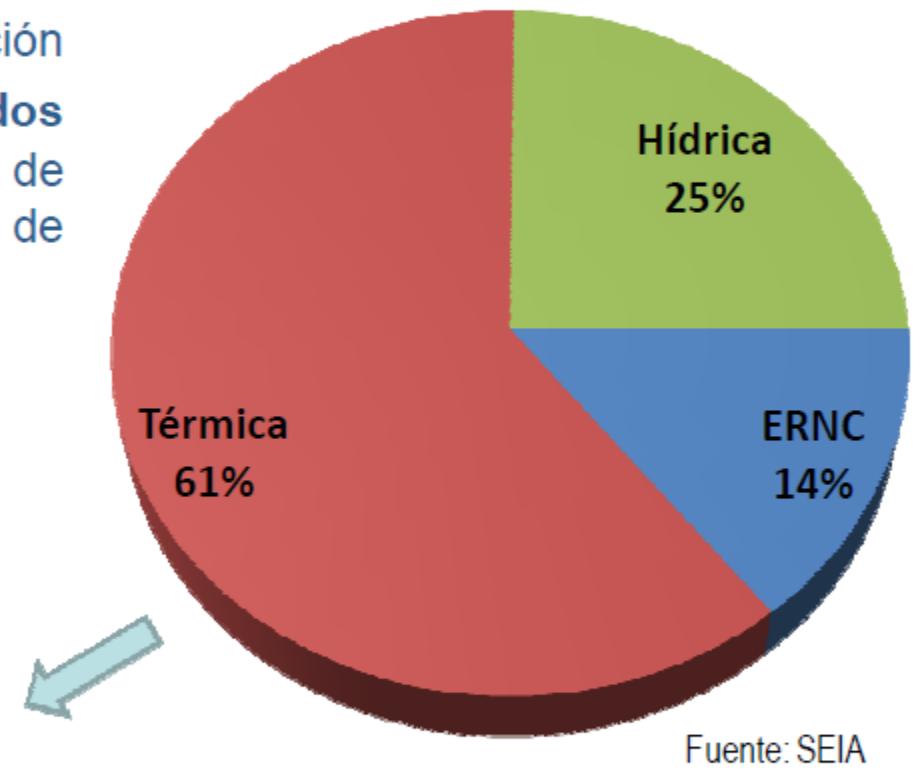
Cifras en % sobre una Potencia Instalada de 14.878 MW



Fuente: Presentación del Ministerio de Energía, "Antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos para el futuro". 2011

Proyectos Eléctricos Ingresados al SEIA entre 2000 y 2011*

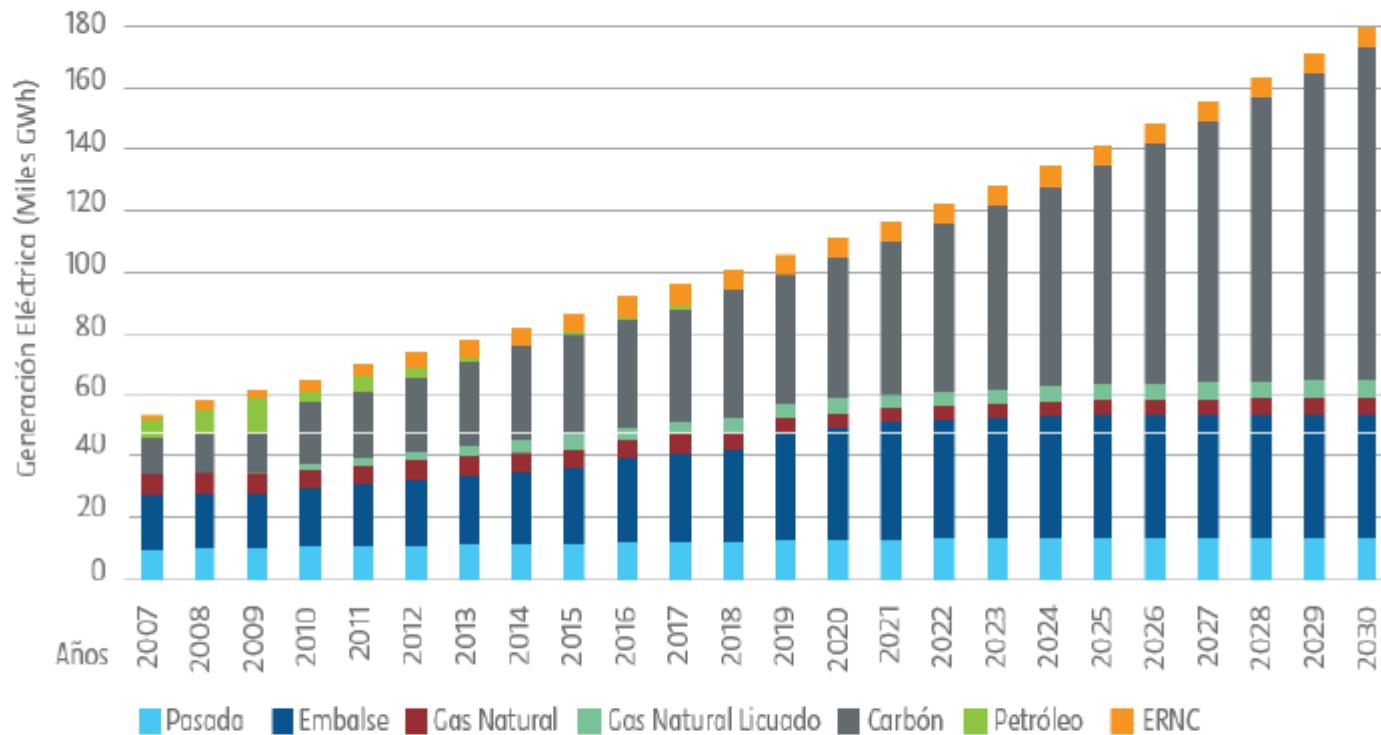
- Han pasado por el proceso de calificación ambiental **222** proyectos (**189 aprobados** y **33 en calificación**) de generación de electricidad, con un potencial total de **26.148 MW**
- Termoeléctricas: 15.904 MW
- Hídricas: 6.495 MW
- ERNC: 3.749 MW



Clara tendencia hacia la generación termoeléctrica

*Actualización hasta el día 30 de junio de 2011

Proyección de la generación eléctrica al 2030



Fuente: PROGEA, Universidad de Chile, "Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero en Chile 2007 – 2030 y opciones de mitigación".

Las proyecciones realizadas por PROGEA establecen un aumento en la generación eléctrica que triplica la generación del año 2007, y dependería en cerca de 60% del carbón.

Problemas del sector eléctrico

- Estructura basada en la lógica del “más genero, más gano”
- Nula facultad del Ejecutivo para dirigir una política de generación eléctrica. Las empresas determinan dónde, cuándo y qué tipo de fuentes instalan
- Alta dependencia externa de energéticos para generación (carbón 94% y petróleo 99%)
- Falta de transparencia en la operación del mercado. La ciudadanía no entiende como funciona el sistema
- El principio de costo-eficiencia permite y potencia que la generación eléctrica sea la más nociva para la población y el medioambiente
- Estructura de ingresos para las empresas generadoras no incentiva ERNC (pago potencia firme)
- Modelo centrado en la demanda
- Ausencia de normativa ambiental

Diagnóstico del mercado

- **Concentración del mercado eléctrico.** Tres empresas generan y comercializan 84 % de la energía en el SIC (Endesa, Colbún y Gener) y 94% de la generación en el SING (E-CL, Gener y Gas Atacama).
- **Escasa diversificación y problemas de seguridad en el abastecimiento.**
- **Sucio** aumenta el uso de combustibles fósiles, especialmente carbón.
- **Sistema marginalista que impulsa el desarrollo de fuentes convencionales y contaminantes.**
- **Precios distorsionados y caro**, los chilenos pagamos de los más altos precios por la electricidad del continente. No considera costos socioambientales asociados.
- **Neutralidad del modelo eléctrico.** El Estado no interviene.
- **Inexistencia de metas de eficiencia energética**, Lógica del “más género, más gano”.

Proyectos en construcción y aprobados sin construir

| Fuente | En construcción (MW) | Aprobados sin construir (MW) | Total (MW) | % del total |
|---------------------|----------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Biomasa | 88,7 | 41,0 | 129,7 | 1% |
| Carbón | 1.687,0 | 3.610,0 | 5.297,0 | 53% |
| Diesel | 67,9 | 537,7 | 605,6 | 6% |
| Eólica | 30,0 | 1.377,5 | 1.407,5 | 14% |
| Gas | - | 591,0 | 591,0 | 6% |
| Hidro Convencional | 967,3 | 858,8 | 1.826,1 | 18% |
| Hidro ERNC (<20 MW) | 49,4 | 69,9 | 119,3 | 1% |
| Solar | - | 9,0 | 9,0 | 0% |
| Total | 2.890,3 | 7.094,9 | 9.985,2 | 100% |

- Considerando proyectos eléctricos en proceso de construcción a julio de 2010, más otros que cuentan con aprobación del SEIA desde el 01 de Enero de 2007, pero que aún no comienzan su construcción, se incorporarían al sistema cerca de 9.985 MW de potencia, lo que equivale al 67% de la capacidad instalada total del país al año 2009 (14.870 MW).
- Sin considerar Castilla, Pacífico, Patache e HidroAysén

Tabla A.1: Potencia bruta instalada en el SING. [Elec96]

| Generadores | Potencia Instalada (MW) |
|----------------|-------------------------|
| Edelnor | 230 |
| Endesa | 90 |
| Tocopilla S.A. | 638 |
| Norgener | 133 |
| Mantos Blancos | 28 |
| TOTAL | 1119 |

Tabla A.2: Centrales termoeléctricas del SIC. [Cede95]

| Nombre | Potencia Inst. (MW) | Unids. | Propietario | Tipos de turbinas |
|---------------|---------------------|--------|---------------|-----------------------|
| Laguna Verde | 54,7 | 2 | Chilgener | Vapor-carbón |
| Renca | 100,0 | 2 | Chilgener | Vapor-carbón |
| Ventanas | 338,0 | 2 | Chilgener | Vapor-carbón |
| El Indio TG | 18,8 | 1 | Chilgener | Gas-diesel |
| D. de Almagro | 23,8 | 1 | Endesa | Gas-diesel |
| Huasco | 16,0 | 2 | Endesa | Vapor-carbón |
| Huasco | 64,2 | 3 | Endesa | Gas-IFO 180 |
| Bocamina | 125,0 | 1 | Endesa | Vapor-carbón |
| Guacolda | 150,0 | 1 | Guacolda | Vapor-carbón |
| Laja | 8,7 | 1 | E. Verde S.A. | Vapor-des. Forest. |
| Constitución | 8,7 | 1 | E. Verde S.A. | Vapor-des. Forest. |
| TOTAL | 907,9 | | | |

Tabla A.3: Centrales hidroeléctricas del SIC. [Cdec95]

| Nombre | Potencia Inst. (MW) | Unids. | Propietario | Tipos de central |
|-------------|------------------------|--------|------------------|------------------|
| Alfalfal | 160,0 | 2 | Chilgener | Pasada |
| Maitenes | 30,8 | 5 | Chilgener | Pasada |
| Queltehués | 41,0 | 3 | Chilgener | Pasada |
| Volcán | 13,0 | 1 | Chilgener | Pasada |
| Colbún | 400,0 | 2 | Colbún | Embalse |
| Machicura | 90,0 | 2 | Colbún | Embalse |
| Pehuenche | 500,0 | 2 | Pehuenche | Embalse |
| Curillínque | 85,0 | 1 | Pehuenche | Pasada |
| Los Molles | 16,0 | 2 | Endesa | Pasada |
| Rapel | 350,0 | 5 | Endesa | Embalse |
| Sauzal | 76,8 | 3 | Endesa | Pasada |
| Sauzalito | 9,5 | 1 | Endesa | Pasada |
| Cipreses | 101,4 | 3 | Endesa | Embalse |
| Isla | 68,0 | 2 | Endesa | Pasada |
| Antuco | 300,0 | 2 | Endesa | Embalse |
| El Toro | 400,0 | 4 | Endesa | Embalse |
| Abanico | 136,0 | 6 | Endesa | Pasada |
| Canutillar | 145,0 | 2 | Endesa | Embalse |
| Pullinque | 48,6 | 3 | Pullinque | Pasada |
| Pilmaiquén | 35,0 | 5 | Pilmaiquén | Pasada |
| Florida | 28,0 | 5 | S.C. del Maipo | Pasada |
| Los Quilos | 39,3 | 3 | H.G. Vieja, M.V. | Pasada |
| Aconcagua | 72,9 | 2 | Aconcagua | Pasada |
| Capullo | 10,7 | 1 | E. E. Capullo | Pasada |
| Sauce Andes | 1,2 | 4 | Gen. S. Andes | Pasada |
| Carbomet | 10,9 | 4 | Carbomet | Pasada |
| TOTAL | 3169,1 | | | |

Antecedentes sobre Ralco la central hidroeléctrica más grande de Chile.

Características técnicas

NOMINALES

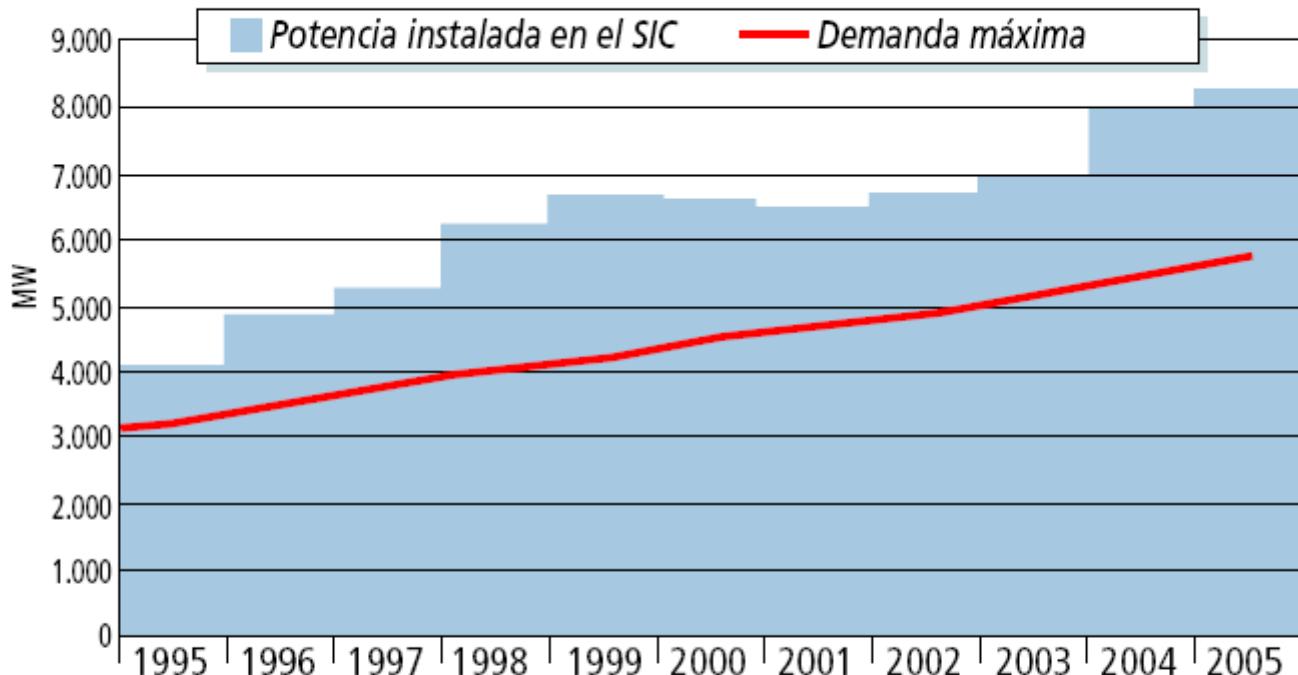
- ▶ Número de unidades: 2
- ▶ Potencia: 570 MW
- ▶ Generación media anual: 3.100 GWH
- ▶ Factor de planta: 62%
- ▶ Caudal medio río BíoBío: 270 m³/seg
- ▶ Caudal de diseño: 368 m³/seg
- ▶ Caudal medio generado: 232 m³/seg
- ▶ Altura neta (para caudal de diseño): 175 metros
- ▶ Caudal ecológico: 27,1 m³/seg

OBRAS DE EMBALSE

Embalse

- ▶ **Nivel máximo normal de operación:**
725 m s.n.m.
- ▶ **Nivel mínimo normal de operación:**
705 m s.n.m.
- ▶ **Nivel mínimo eventual de operación:** 692 m s.n.m.
- ▶ **Superficie máxima inundada:**
3.467 hectáreas
- ▶ **Volumen total embalsado:** 1.200 millones de m³

Potencia instalada y demanda máxima del SIC



| | 2004 | 2005 |
|-----------------|------|------|
| Planta Valdivia | 70 | - |
| El Indio | 18 | - |
| Nehuenco II TV | 131 | - |
| Ralco | 670 | - |
| Coronel | 48 | - |

| | 2004 | 2005 |
|------------|-------|------|
| Antilhue | 50 | - |
| Horcones | 25 | - |
| Candelaria | - | 250 |
| Total | 1.012 | 250 |

Fuente: CDEC-SIC.

V. Energía Nuclear en Chile. Razones para una Decisión

- Chile importa:
 - 97% de petróleo.
 - 78% del gas.
 - 84% del carbón.
- **¾ de la matriz energética corresponden a estos elementos.**
- **La demanda de energía aumenta a índices superiores que el económico.**
- Chile está ad-porta de una crisis energética que puede poner en riesgo, incluso, nuestra soberanía.
- Las denominadas energías renovables no convencionales (ERNC), como la eólica, solar etc, hoy se acercan al 2% y con suerte el 2015 llegaría al 5%. *No es solución.*

➤ Si se considera que el ritmo de crecimiento que tiene Chile y que la demanda de energía se incrementa en forma considerable todos los años (~ 600 MW/año), esto deriva que en un plazo mediano (10 a 15 años) el actual sistema energético es insuficiente si se opera en base a las fuentes de abastecimientos y recursos actuales.

➤ La energía nuclear en Chile surge como una opción viable,

➤ La importancia de la energía nuclear en el día de hoy reside principalmente en el hecho de ser un tipo de energía que se caracteriza por ser:

- No contaminante y que no tiene ningún efecto negativo frente al calentamiento global y efecto invernadero.

- Por otro lado, aunque parezca extraño, tiene bajos costos comparativos respecto a otras fuentes energéticas como el gas, petróleo y carbón, que si son fuentes energéticas contaminantes de CO₂.

- La energía nuclear es de alto rendimiento

Nuestra realidad energética requiere:

- Utilizar en forma equilibrada diversas fuentes de energías que nos garanticen la soberanía necesaria y que comprenda como elementos bases de cualquier decisión los efectos contaminantes, su rentabilidad y estabilidad.**
- Se deben tomar las decisiones adecuadas en los ámbitos necesarios que garanticen una política energética de estado, que esté por sobre cualquier coyuntura específica.**
- En este contexto la energía nuclear en Chile es viable, necesaria y requiere un tratamiento como país.**
- Por lo tanto, se deben buscar y generar los consensos al respecto, en forma abierta y colocando todas las cartas sobre la mesa.**

VI. Energía Nuclear en Chile. Acciones y Desafíos Futuros

- Desarrollar un acuerdo y consenso nacional sobre la factibilidad y necesidad de este tipo de energía.
 - Crear un organismo de supervisión y de control independiente del poder político y técnicamente adecuado.
 - Desarrollar normas para instalar, operar, disponer, desmantelar, etc, este tipo de centrales. Realizar estudios de sitio y normas antisísmicas.
 - Desarrollar estudios de ingeniería sobre el detalle de las obras civiles.
 - Desarrollar los estudios económicos que se requieran.
 - Decidir e implementar acuerdos para compra de combustible nuclear (uranio).
 - Crear los mecanismos de formación y capacitación de cuadros técnicos y profesionales adecuados.
- Para poder disponer de este tipo de energía el año 2020, se requiere adoptar una decisión alrededor del 2010 ó 2012 a más tardar.**

Figura 5: Hitos importantes en un potencial PNP en Chile

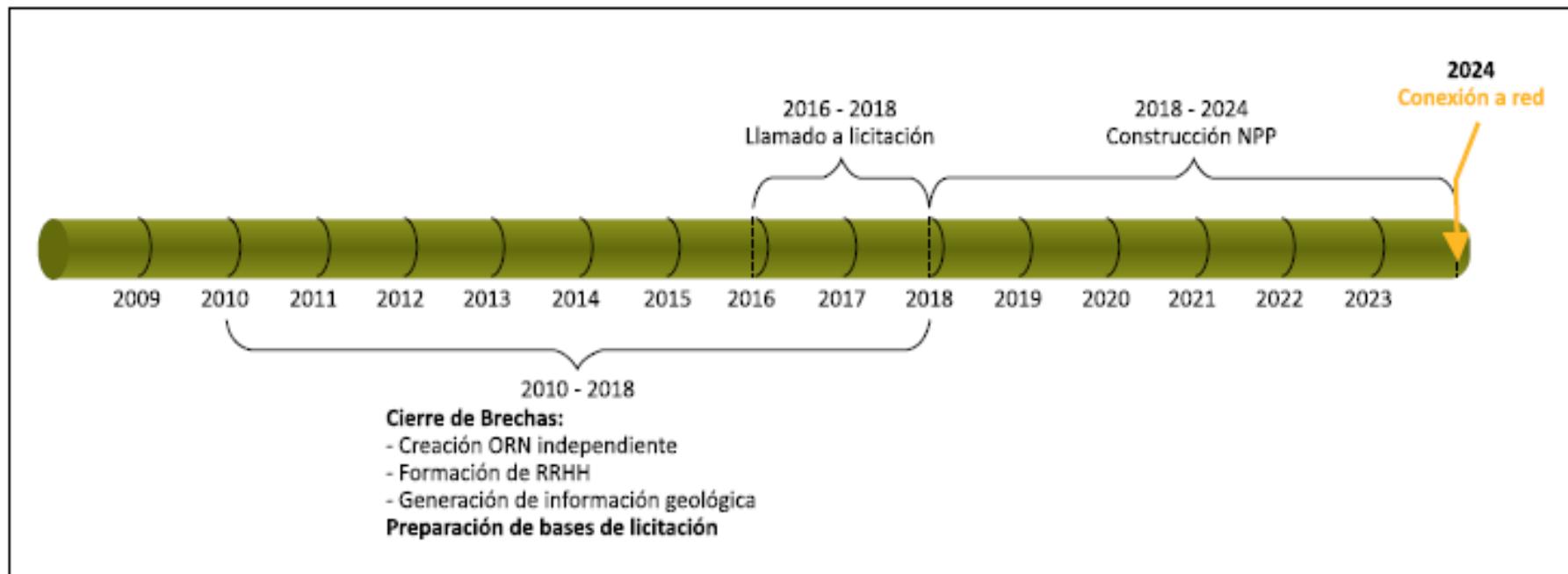
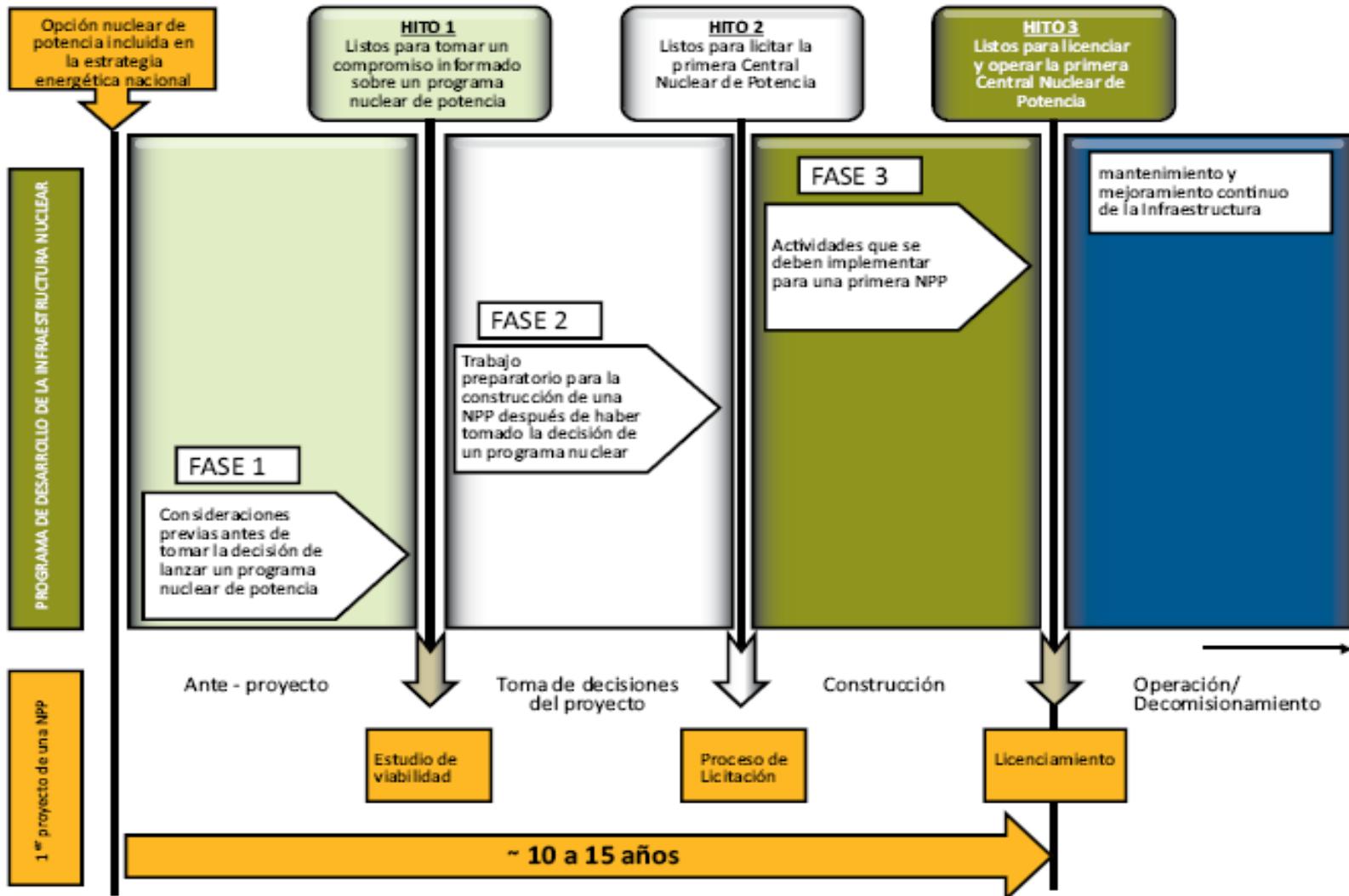


Figura 1: Hitos en el desarrollo de un Programa Nuclear de Potencia



Fuente: OIEA (2007).

Fuentes Información

- CNE, Comisión Nacional de Energía, Chile
- CCHEN, Comisión Chilena de Energía Nuclear
- Universidad Católica de Chile
- Instituto Libertad y Desarrollo, Chile
- CNEA Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina
- IAEA, Agencia Internacional de Energía Atómica,
Viena, Austria - ONU



www.thenausea.com

www.thenausea.com





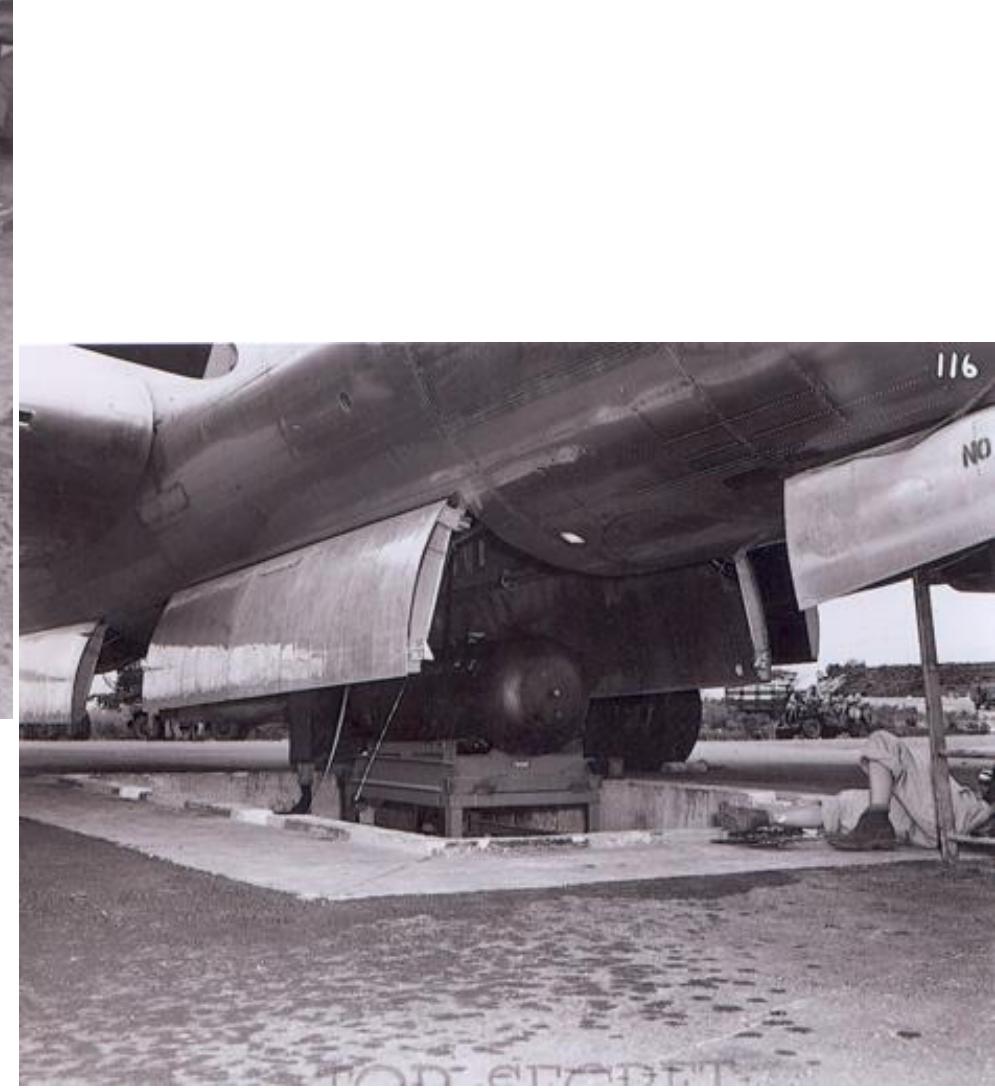


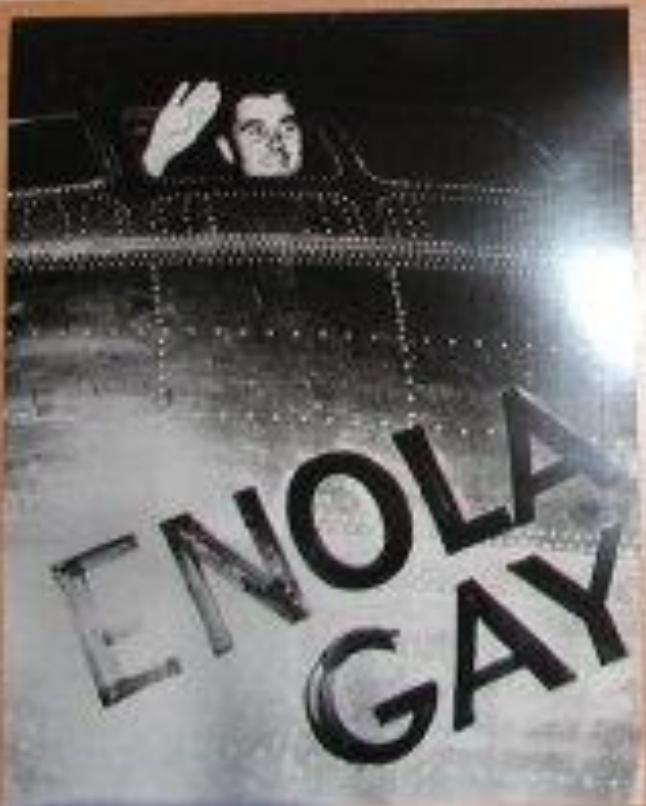
www.templetons.com



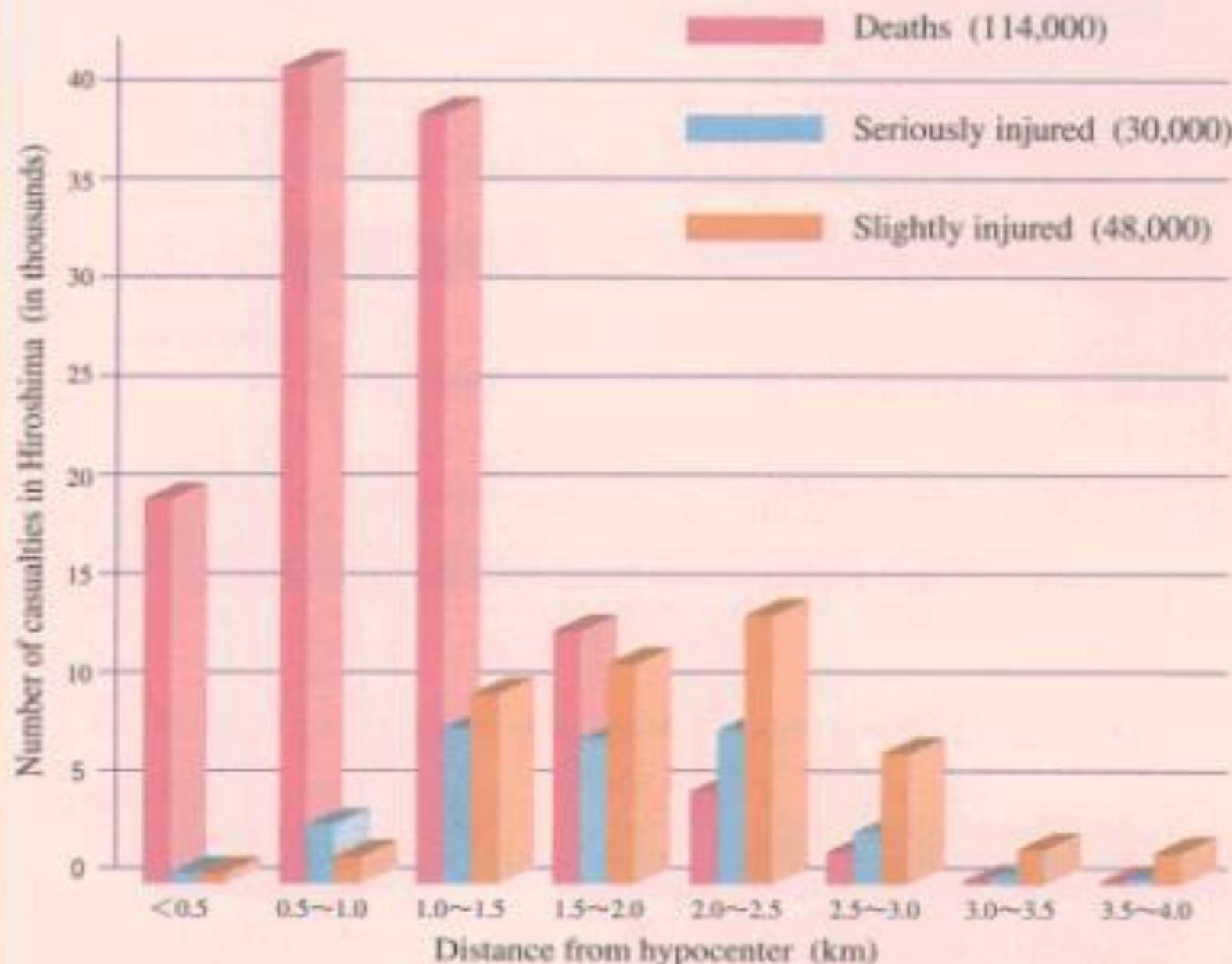
The clock stopped at 8:15 a.m.,
the moment the bomb exploded
(APTV)



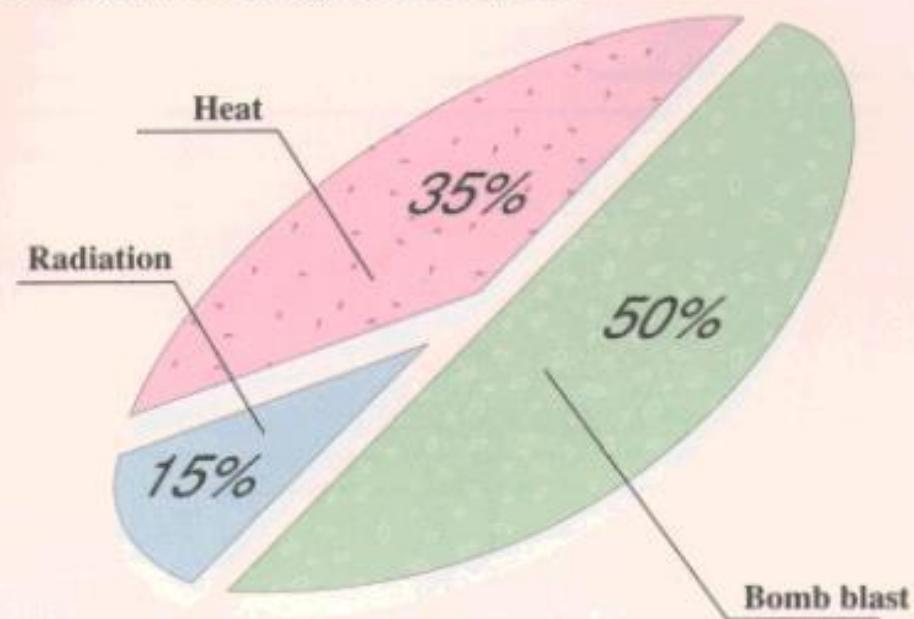


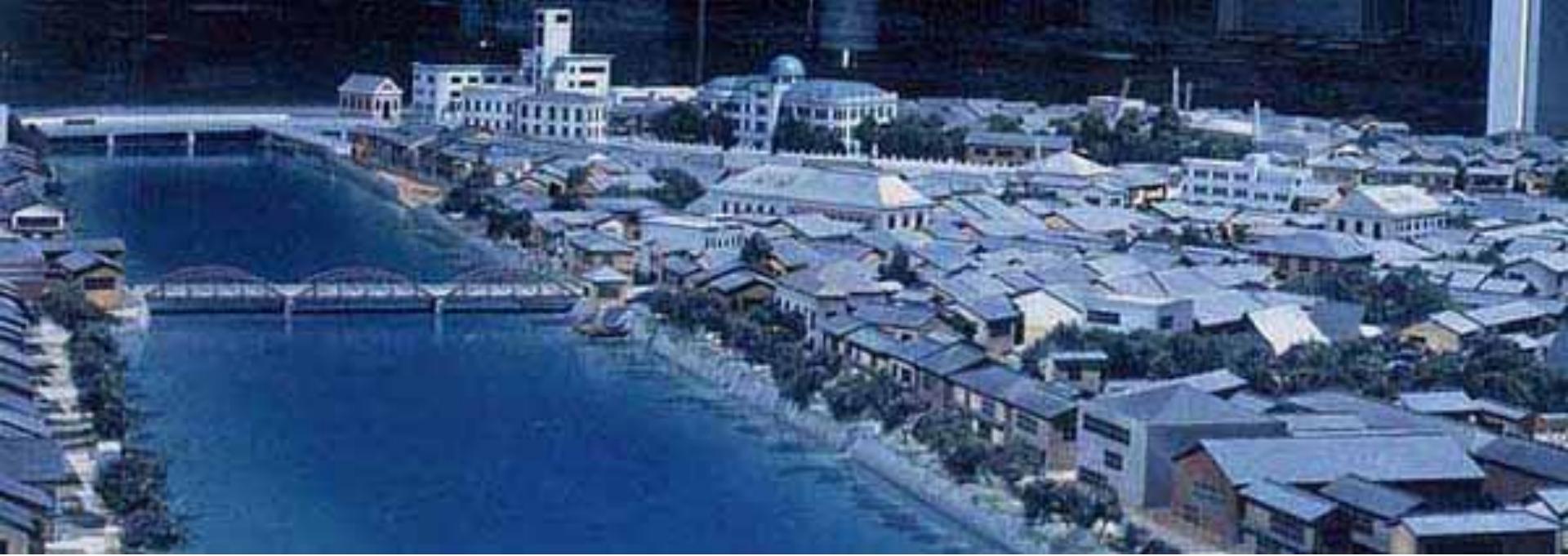


Relationship between number of casualties and distance from the hypocenter



Distribution of energy released by the atomic bomb







AP



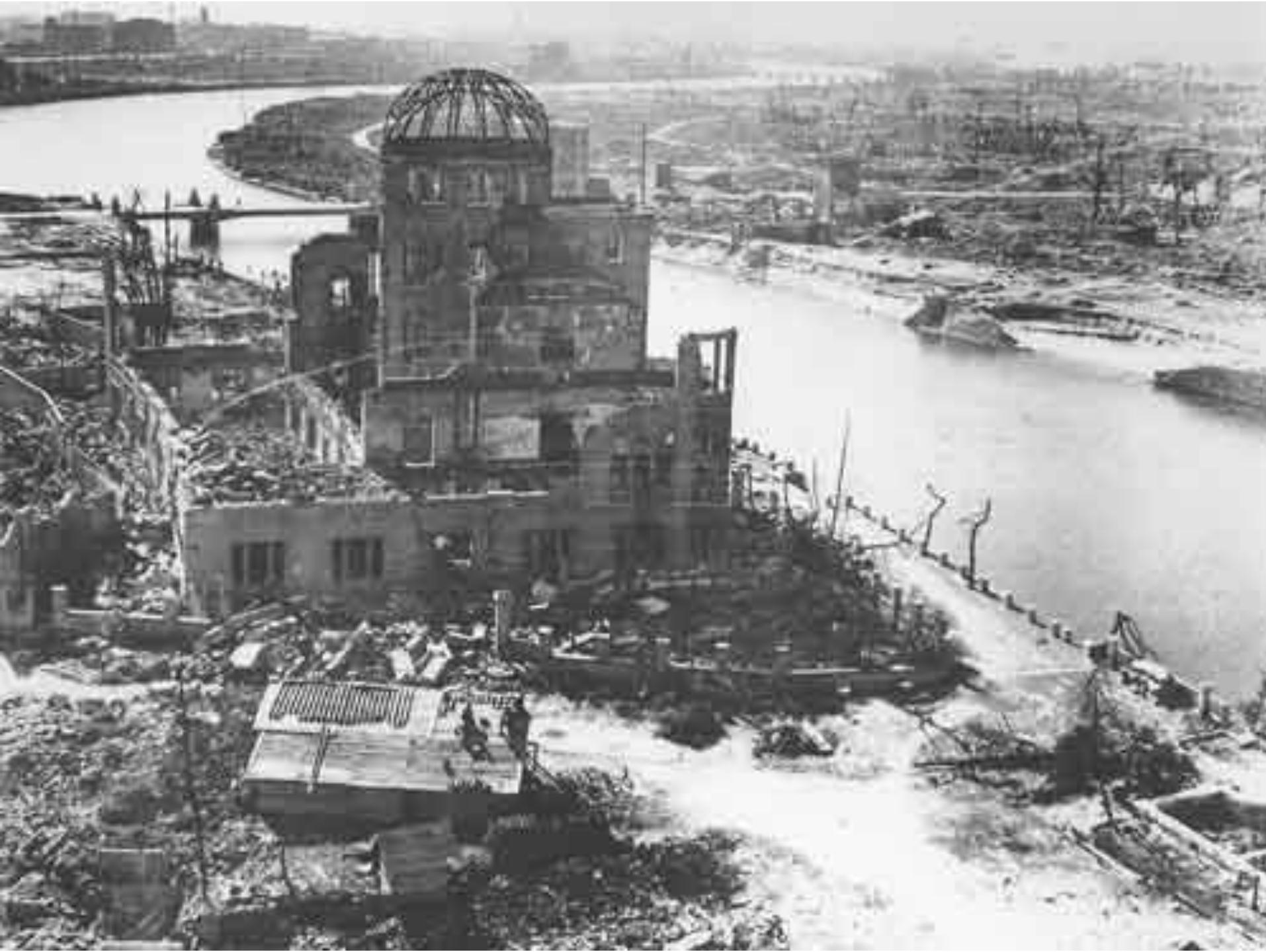
AP



AFP



AFP



- El 6 de agosto de 1945, la ciudad japonesa de Hiroshima, situada en Honshu, la isla principal del Japón, sufrió la devastación, hasta entonces desconocida, de un ataque nuclear.
- A las 8:15, el bombardero B-29, “Enola Gay”, al mando del piloto Paul W. Tibblets, lanzó sobre Hiroshima a little boy, nombre en clave de la bomba de uranio.
- Un ruido ensordecedor marcó el instante de la explosión, seguido de un resplandor que iluminó el cielo.
- En minutos, una columna de humo color gris-morado con un corazón de fuego (a una temperatura aproximada de 4000° C) se convirtió en un gigantesco “hongo atómico” de poco más de un kilómetro de altura.
- Uno de los tripulantes de “Enola Gay” describió la visión que tuvo de ese momento, acerca del lugar que acaban de bombardear: “parecía como si la lava cubriera toda la ciudad”.
- Tokio, localizado a 700 kilómetros de distancia, perdió todo contacto con Hiroshima: hubo un silencio absoluto.
- El alto mando japonés envió una misión de reconocimiento para informar sobre lo acontecido. Después de tres horas de vuelo, los enviados no podían creer lo que veían: de Hiroshima sólo quedaba una enorme cicatriz en la tierra, rodeada de fuego y humo.
- El 9 de agosto, a las 11:02 de la mañana, el espectáculo de la aniquilación nuclear se repitió en Nagasaki, situada en una de las islas menores de Japón llamada Kyushu. El bombardero B-29, “Bock’s Car”, lanzó sobre esa ciudad industrial a fat boy, una bomba de plutonio, con la capacidad de liberar el doble de energía que la bomba de uranio.