



Universitat Politècnica de Catalunya
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona
Departament de Física i Enginyeria Nuclear
Nuclear Engineering Research Group (NERG)



Reptes i Oportunitats de l'Energia Nuclear



Palma, 4 de Març de 2009

Javier Dies Llovera

Doctor Ingeniero Industrial

Catedrático de Universidad de Ingeniería Nuclear

- Crisis Energética
- Energia Nuclear de Fisio
- Energia Nuclear de Fusio
- Crisis Economica

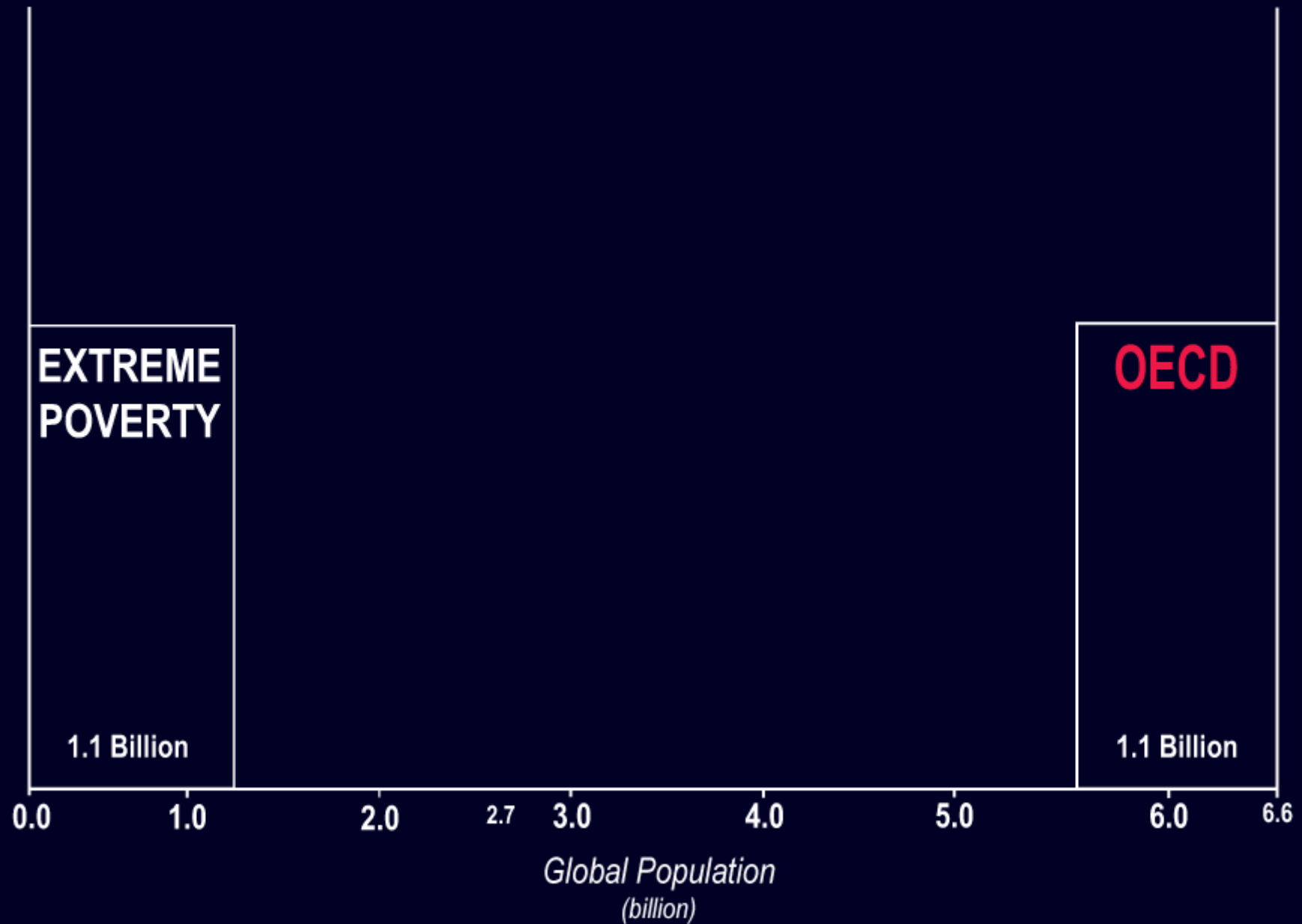
A World of Extremes

6,600,000,000 people

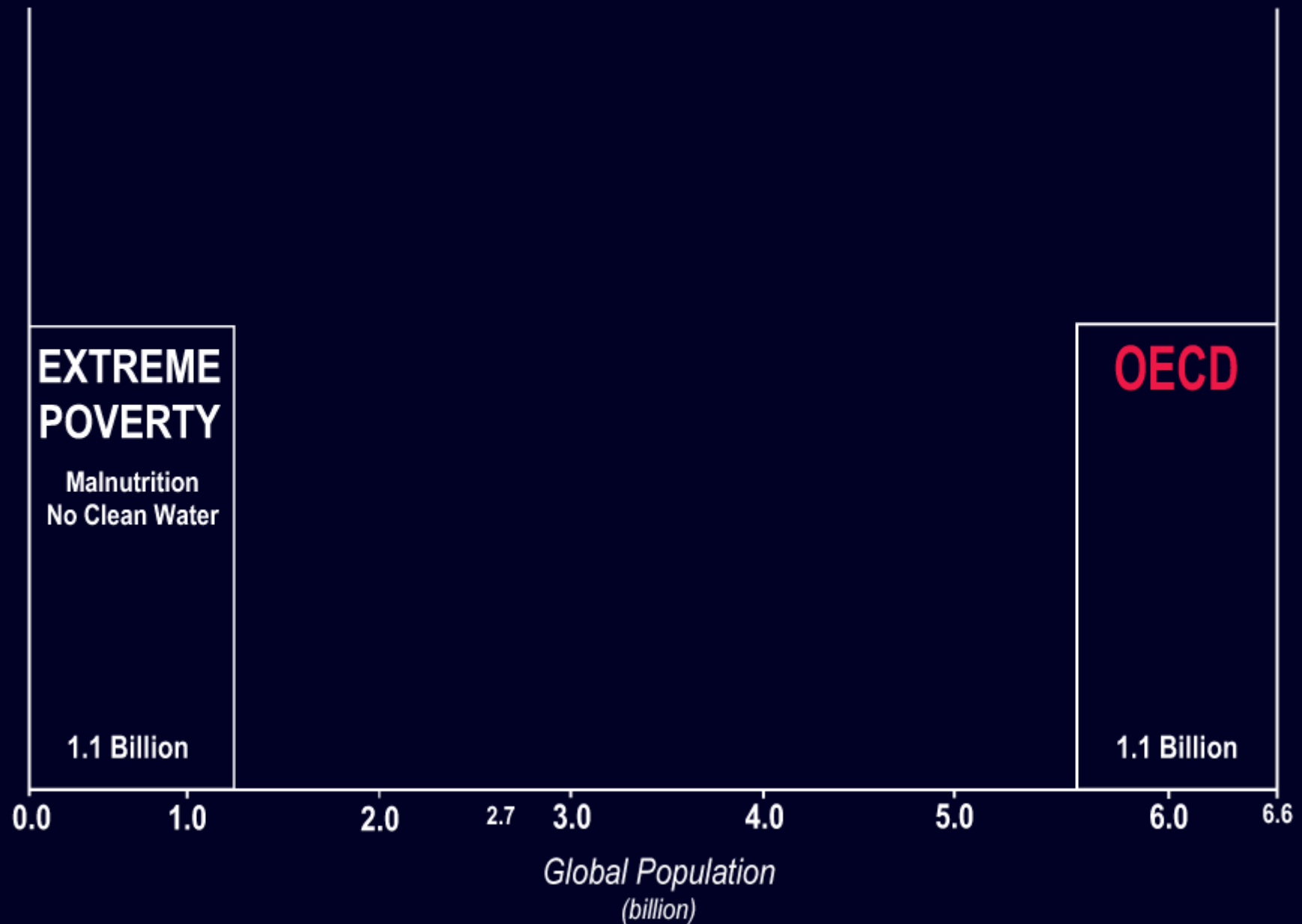
0.0 1.0 2.0 2.7 3.0 4.0 5.0 6.0 6.6

*Global Population
(billion)*

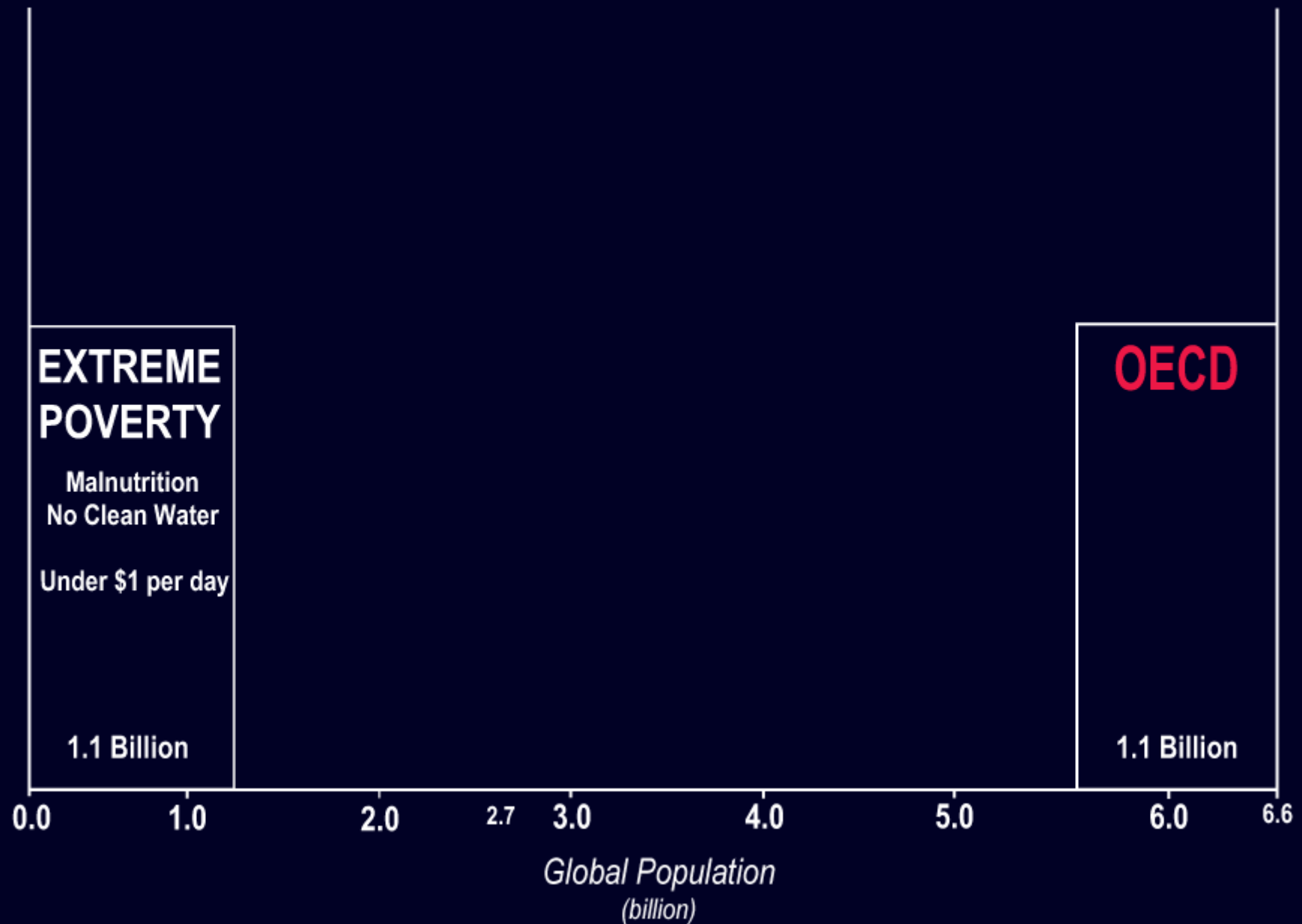
A World of Extremes



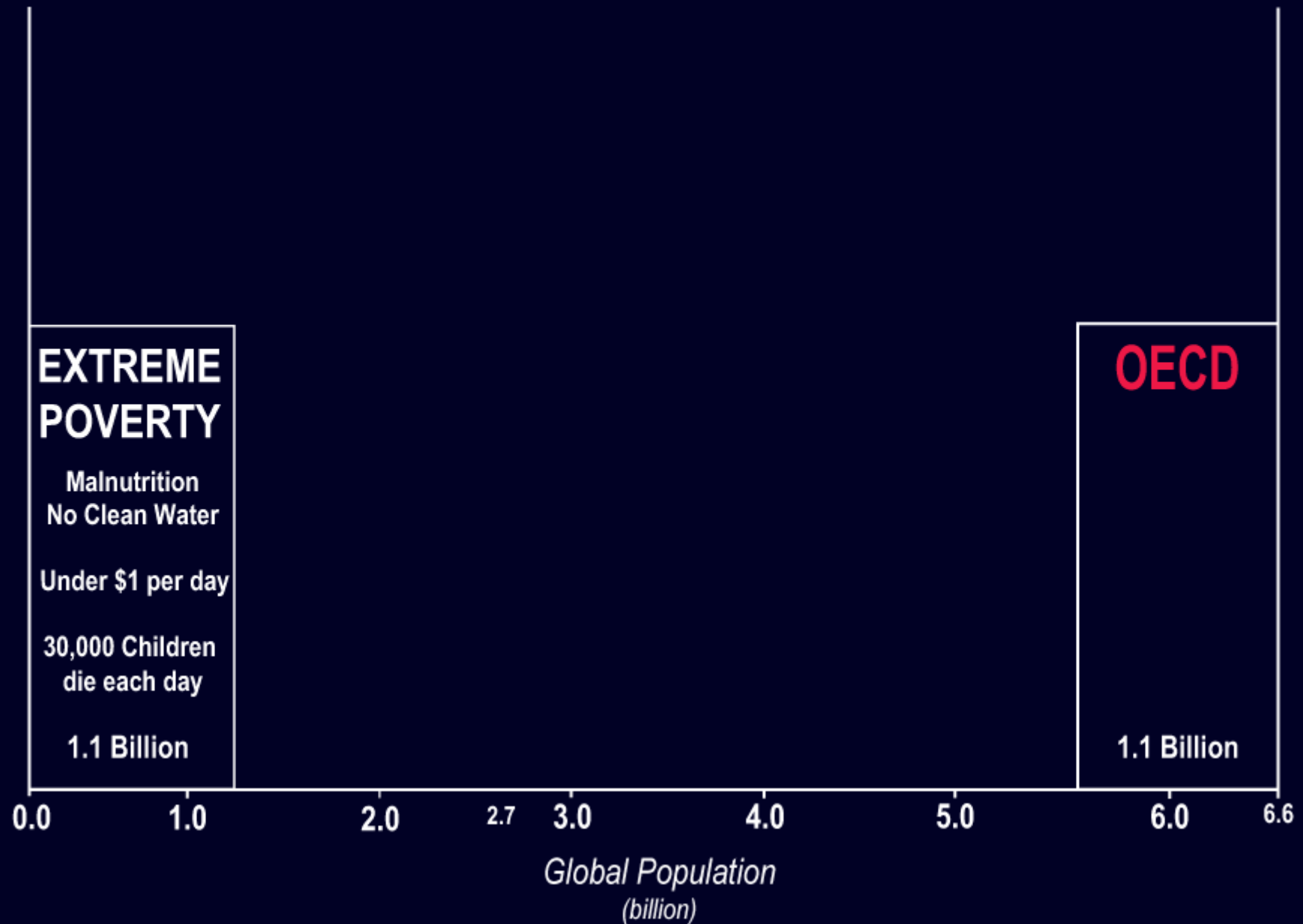
A World of Extremes



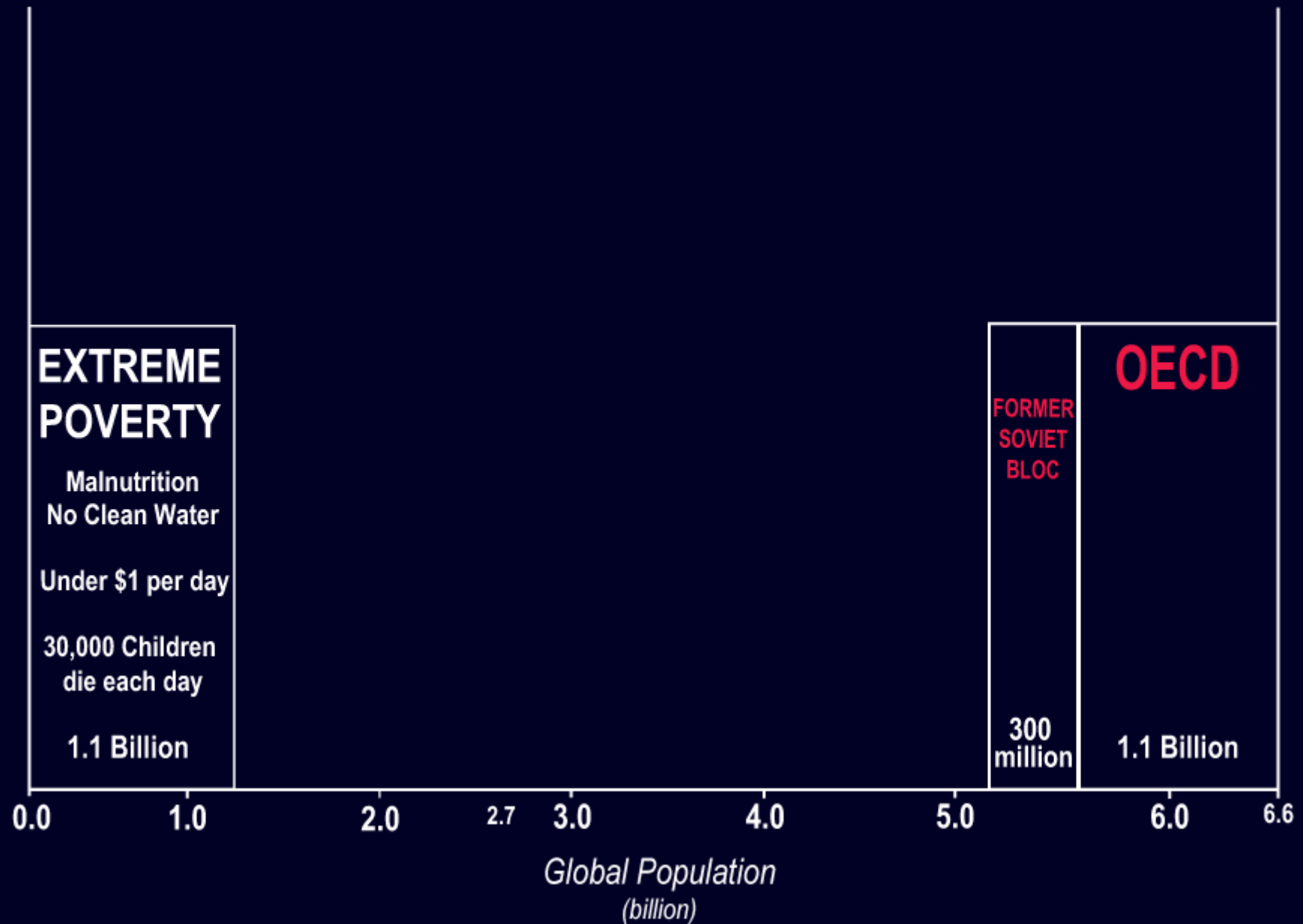
A World of Extremes



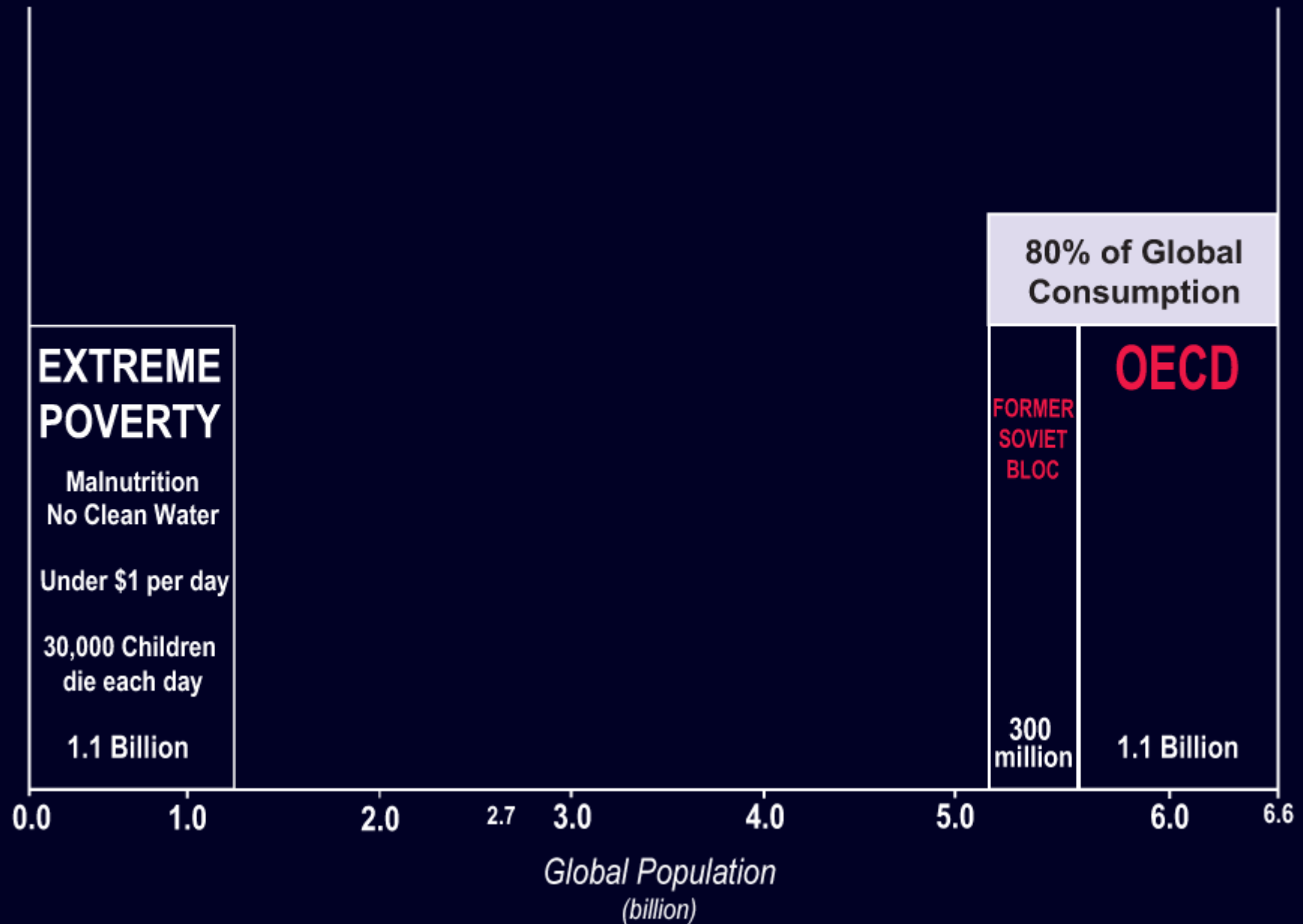
A World of Extremes



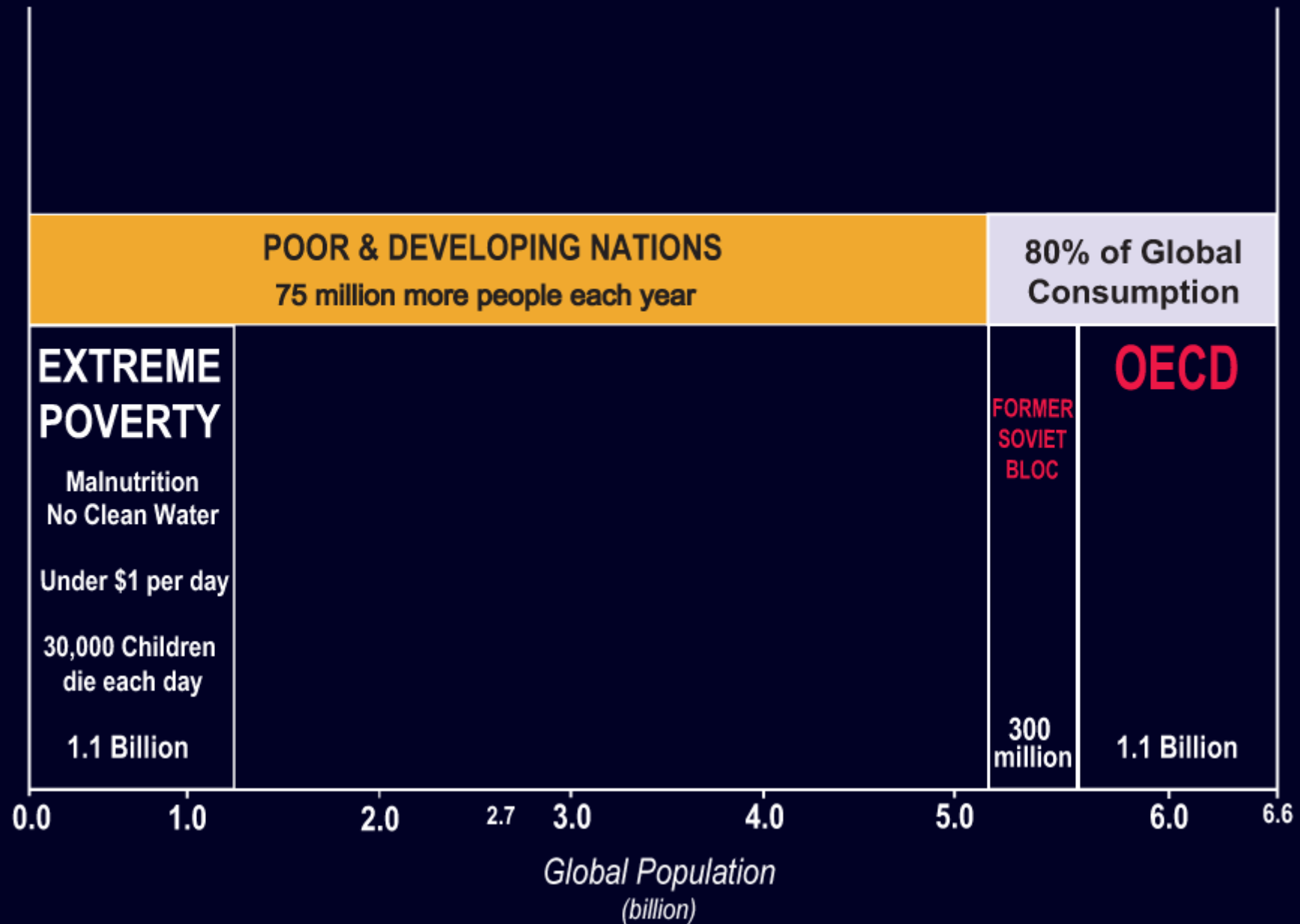
A World of Extremes



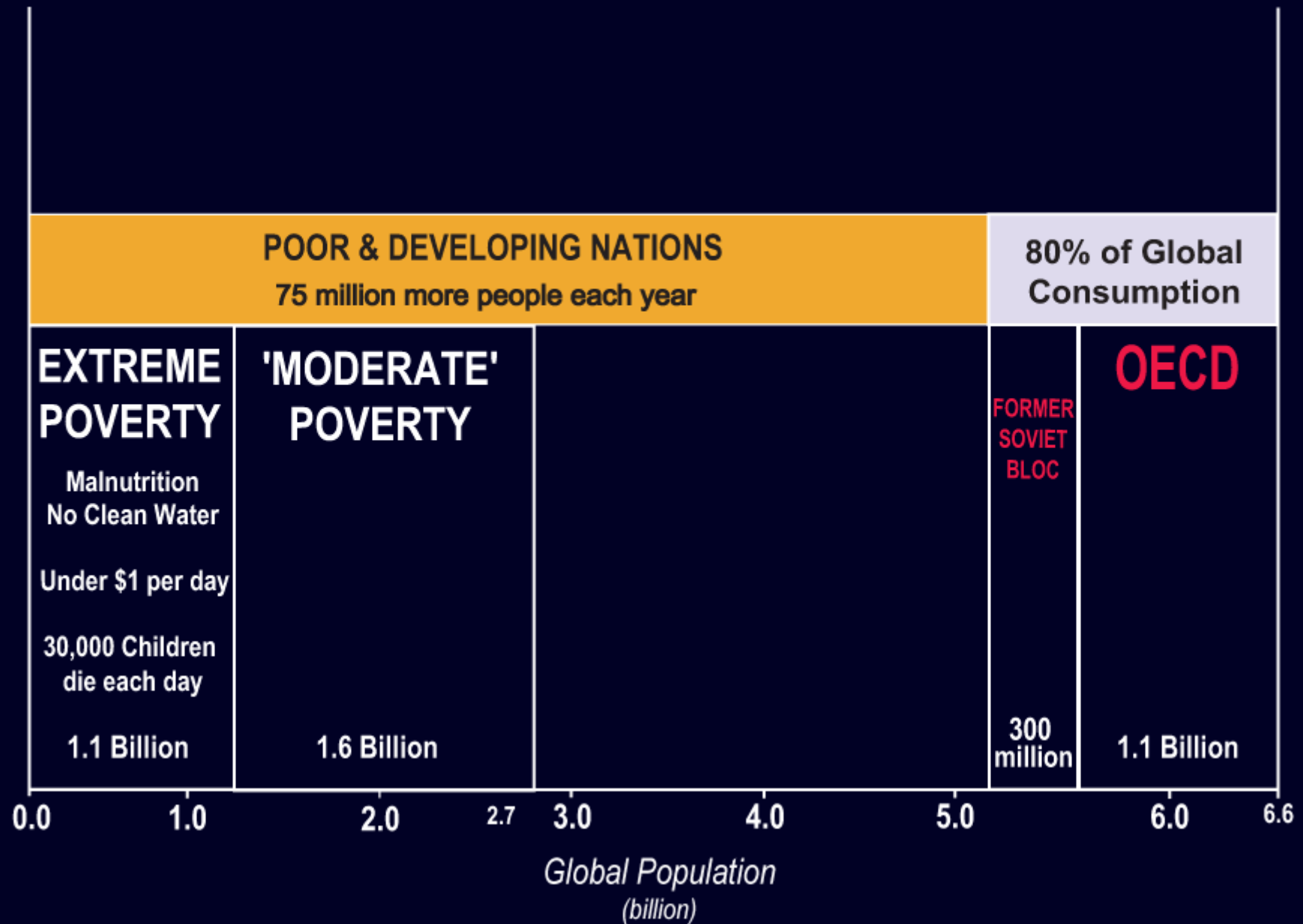
A World of Extremes



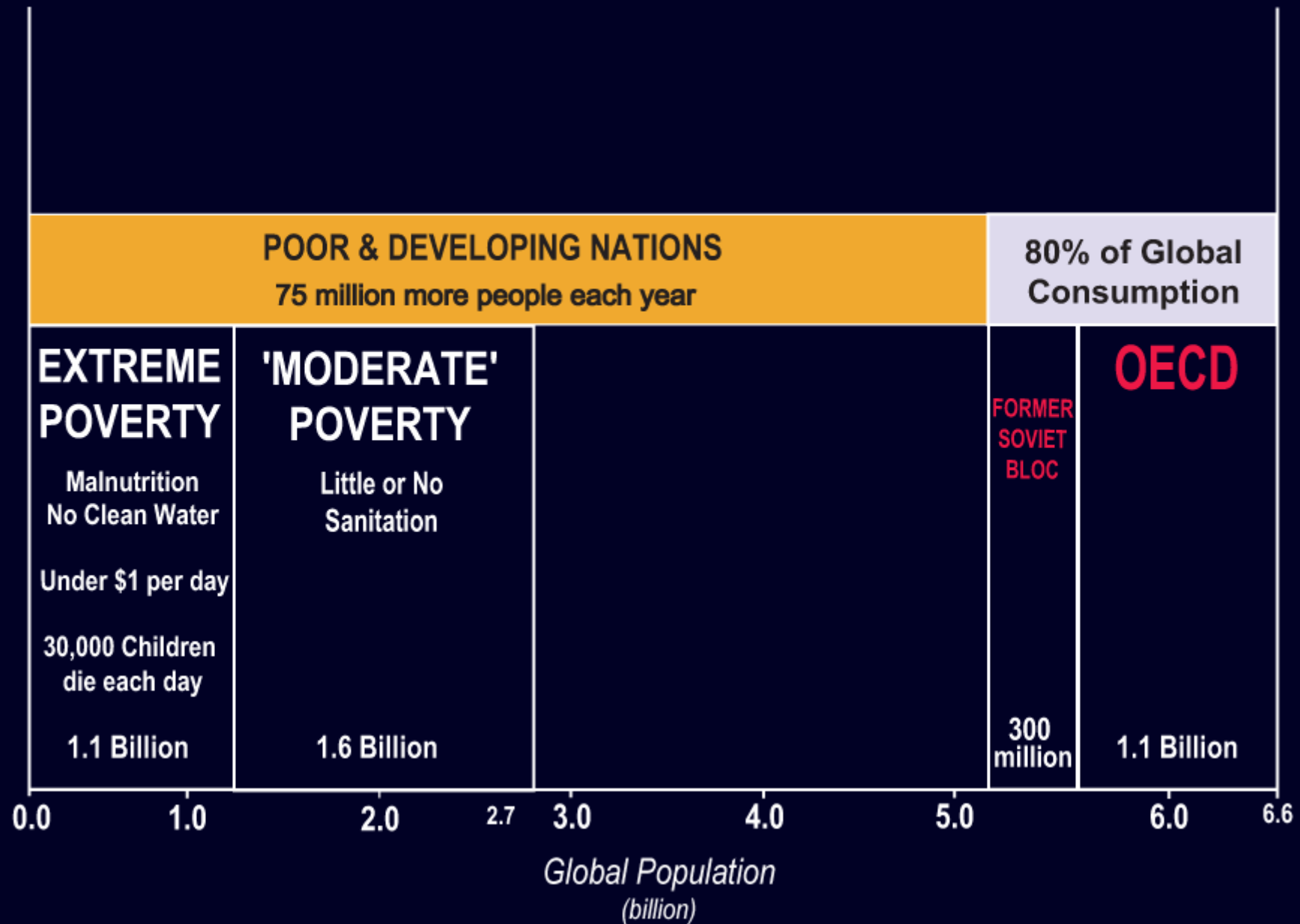
A World of Extremes



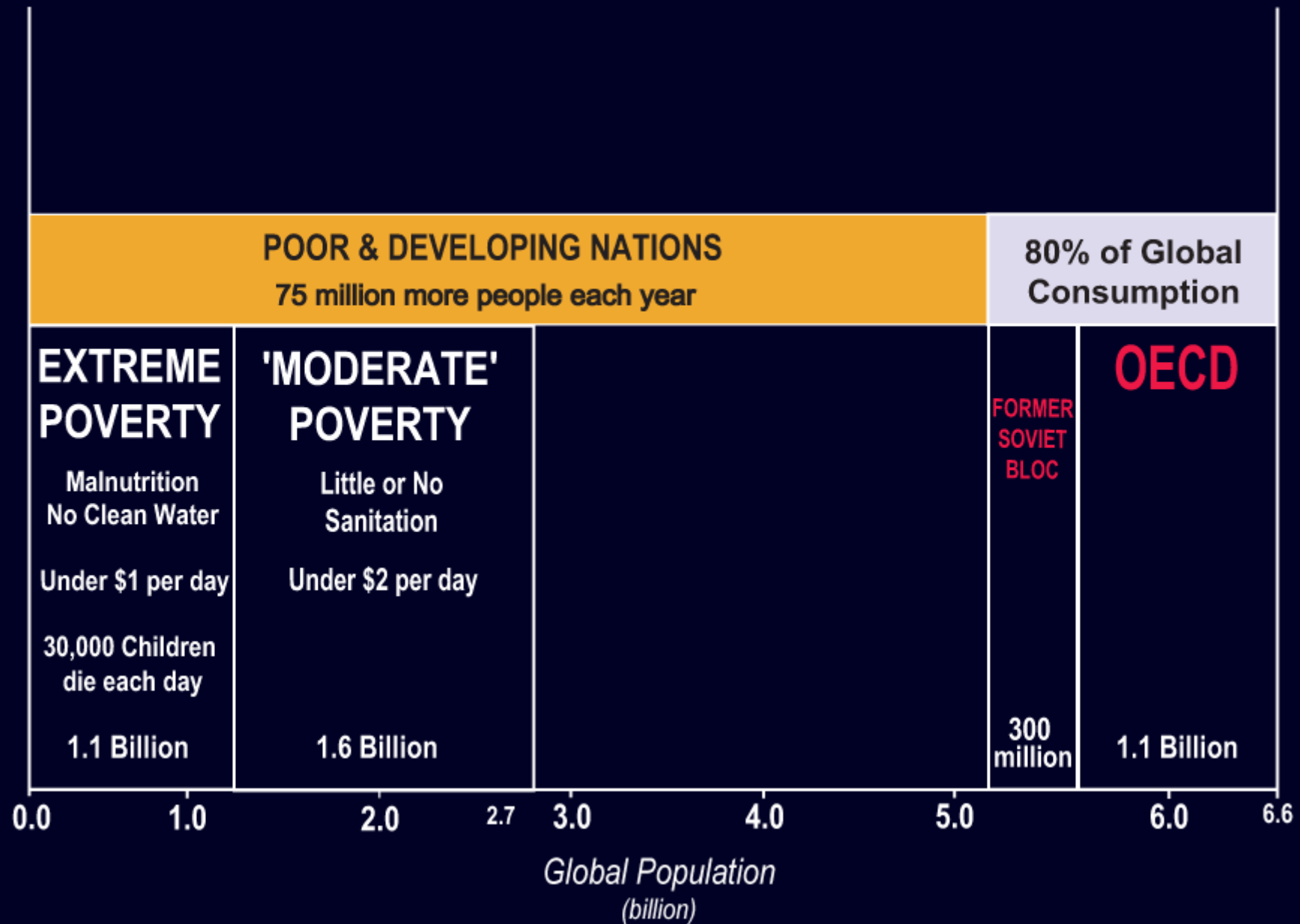
A World of Extremes



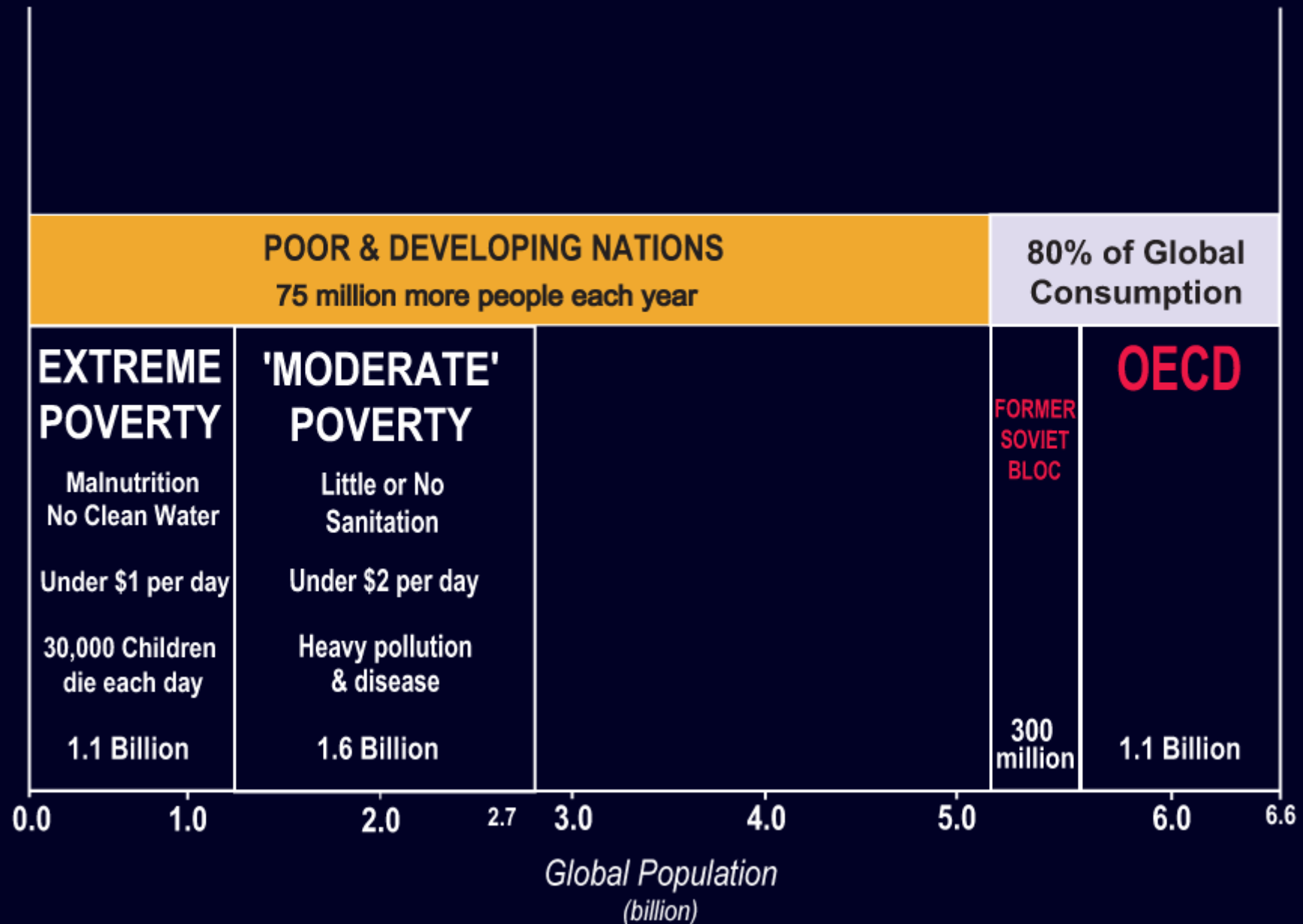
A World of Extremes



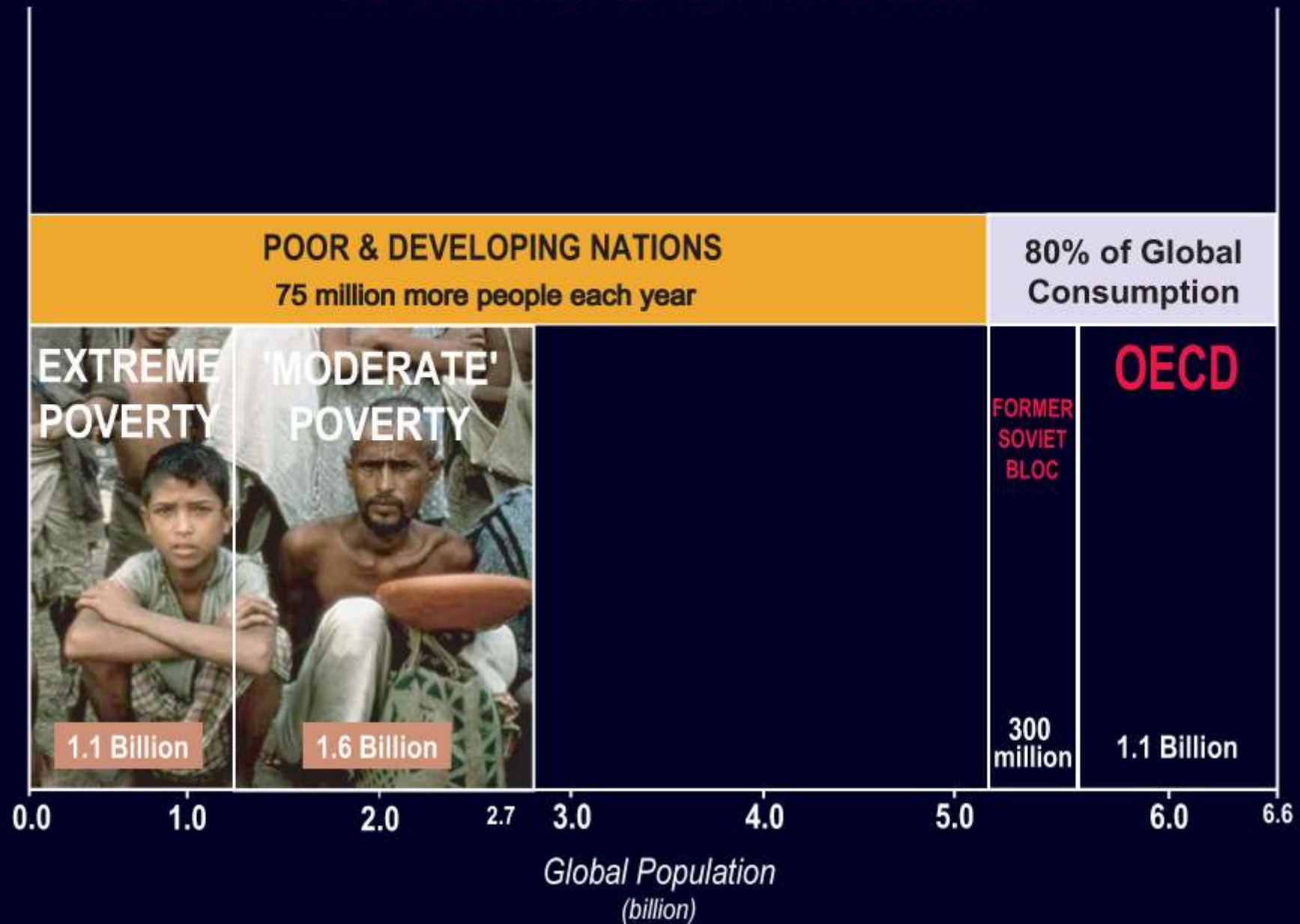
A World of Extremes



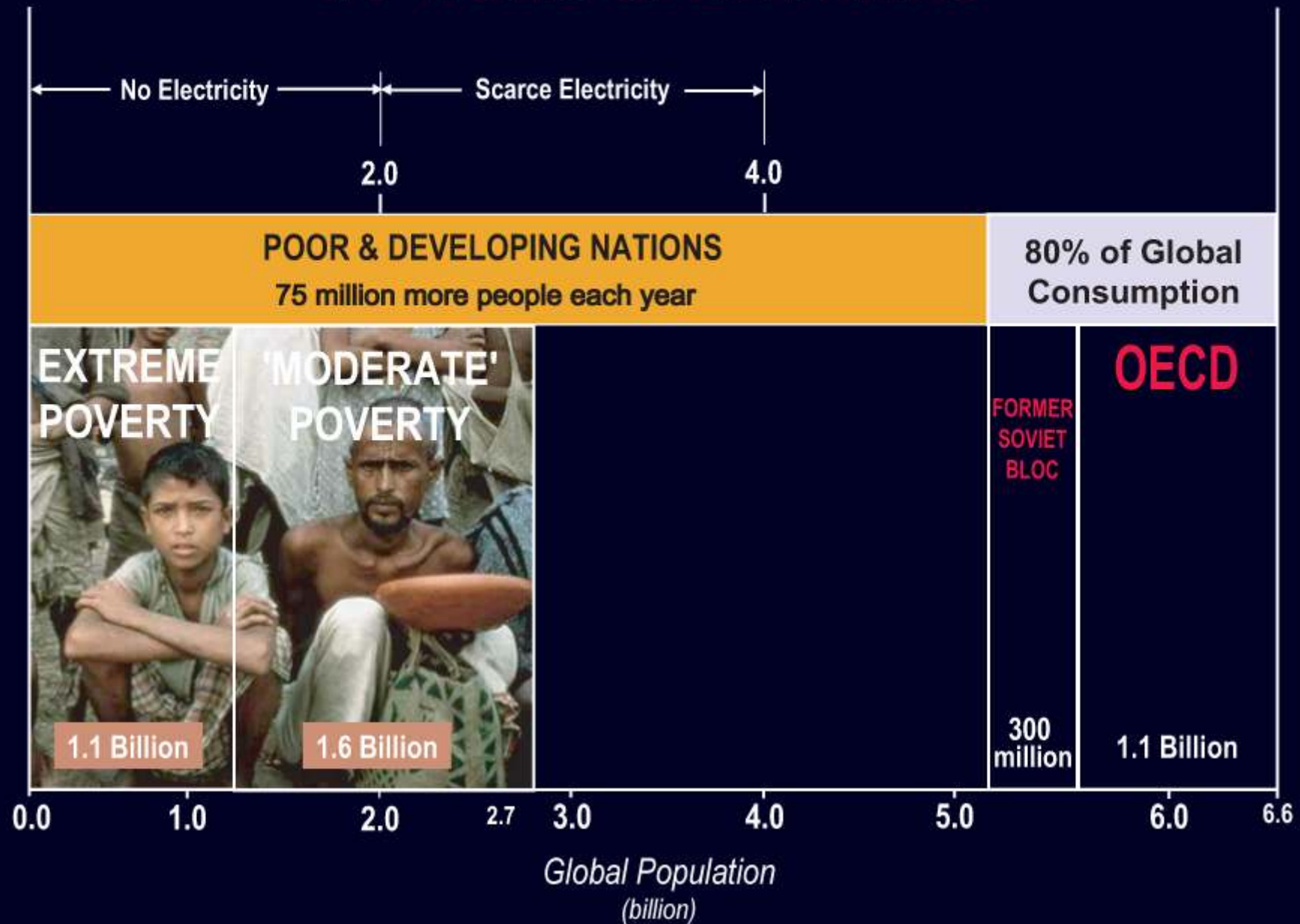
A World of Extremes



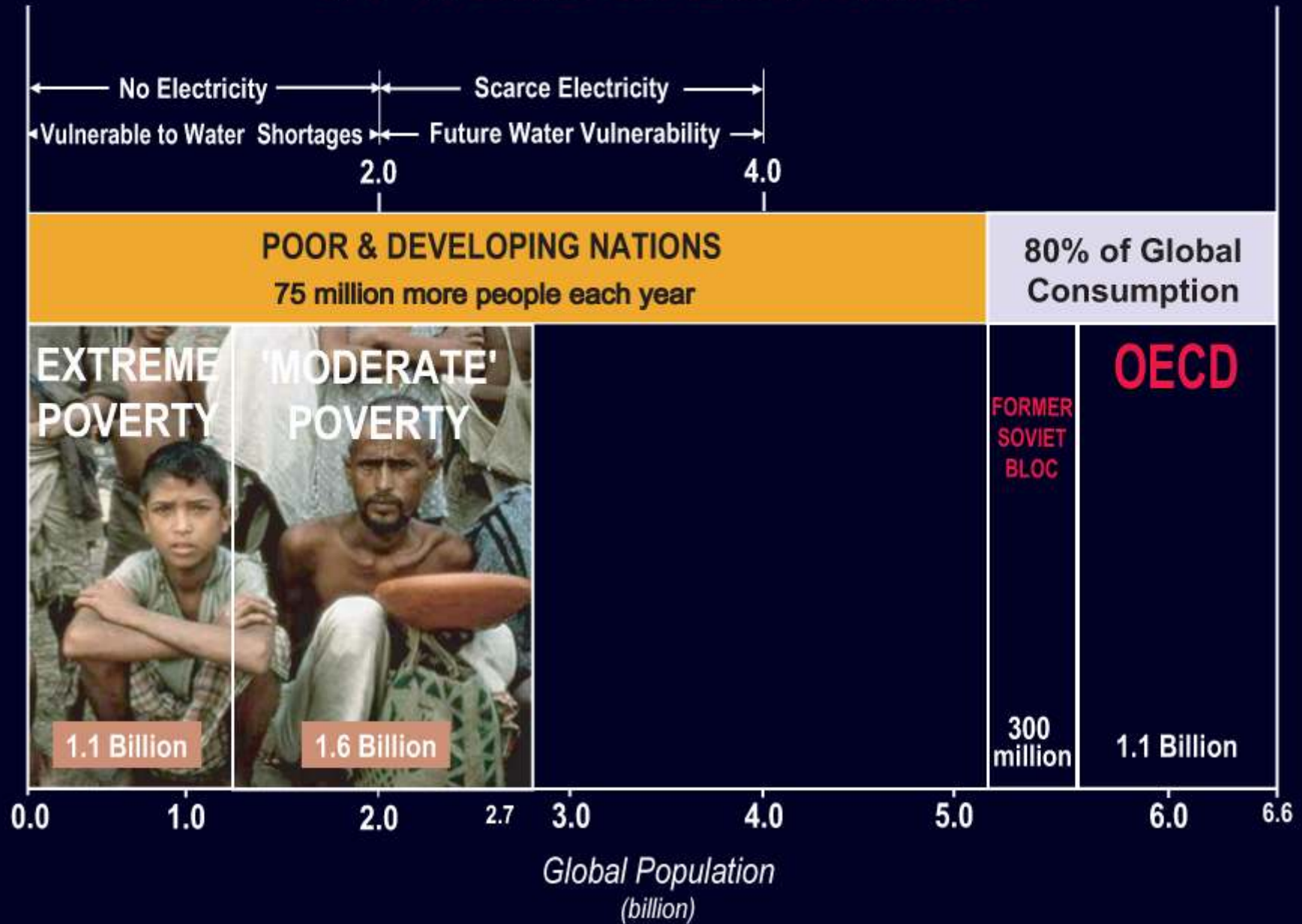
A World of Extremes



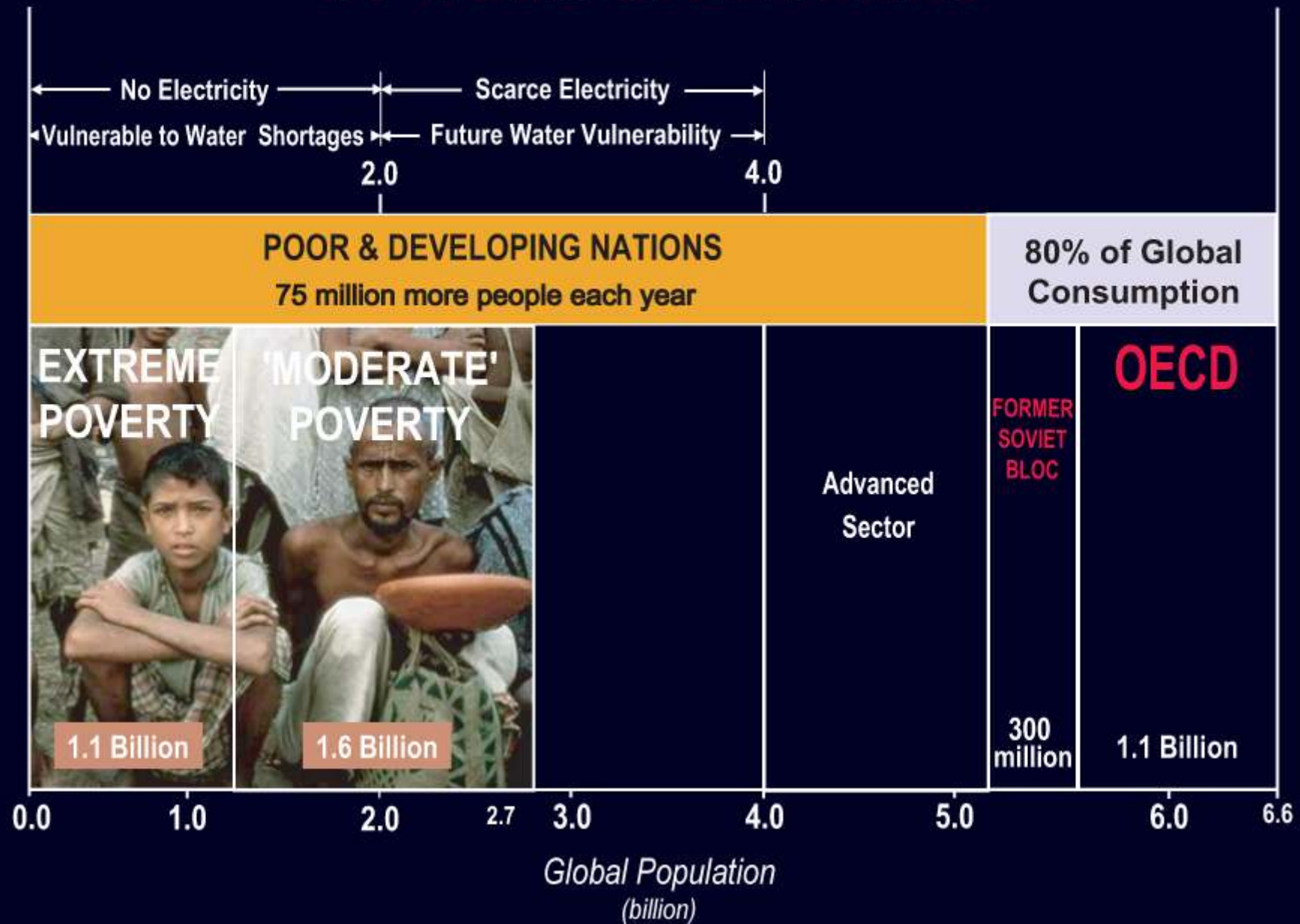
A World of Extremes



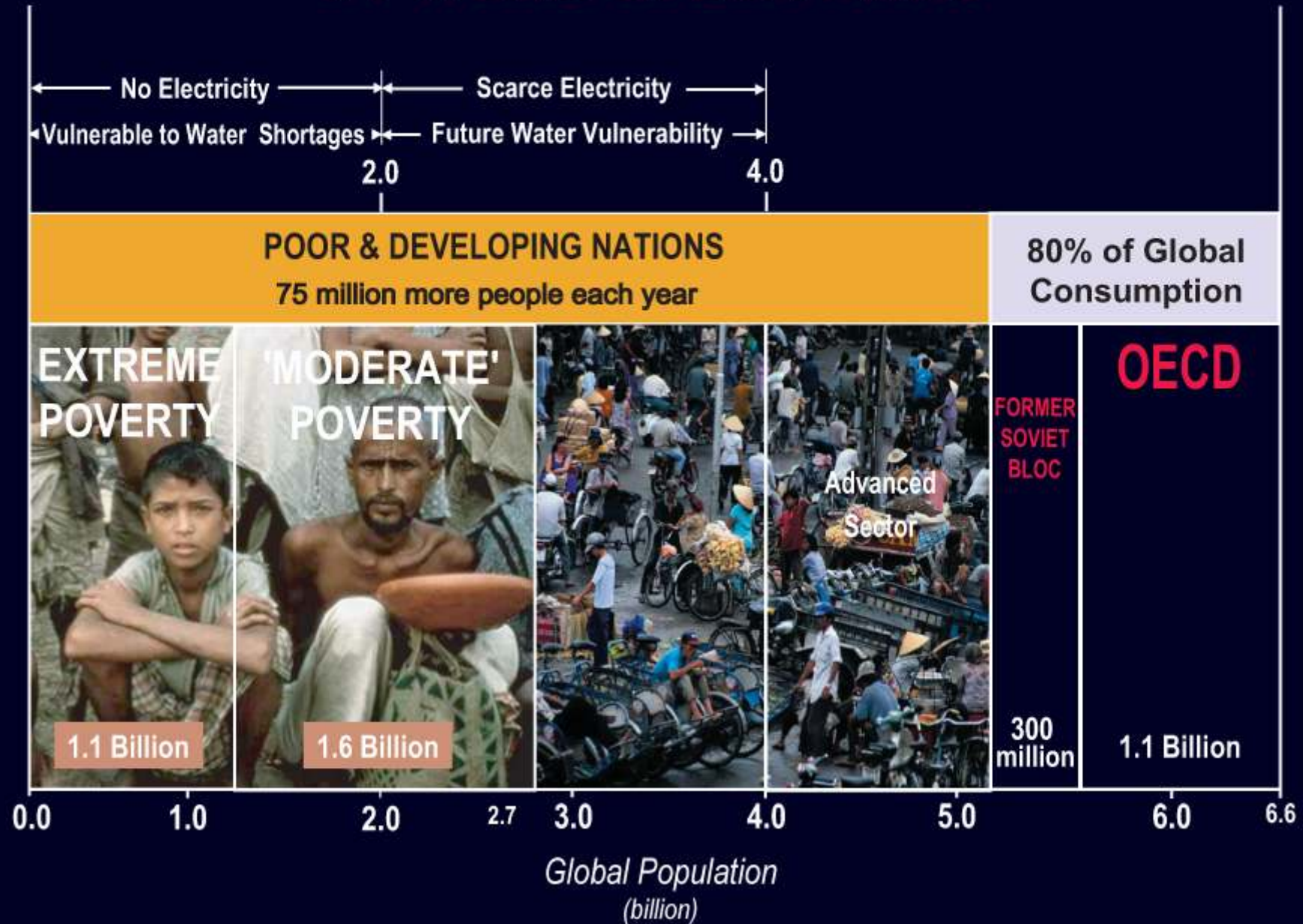
A World of Extremes



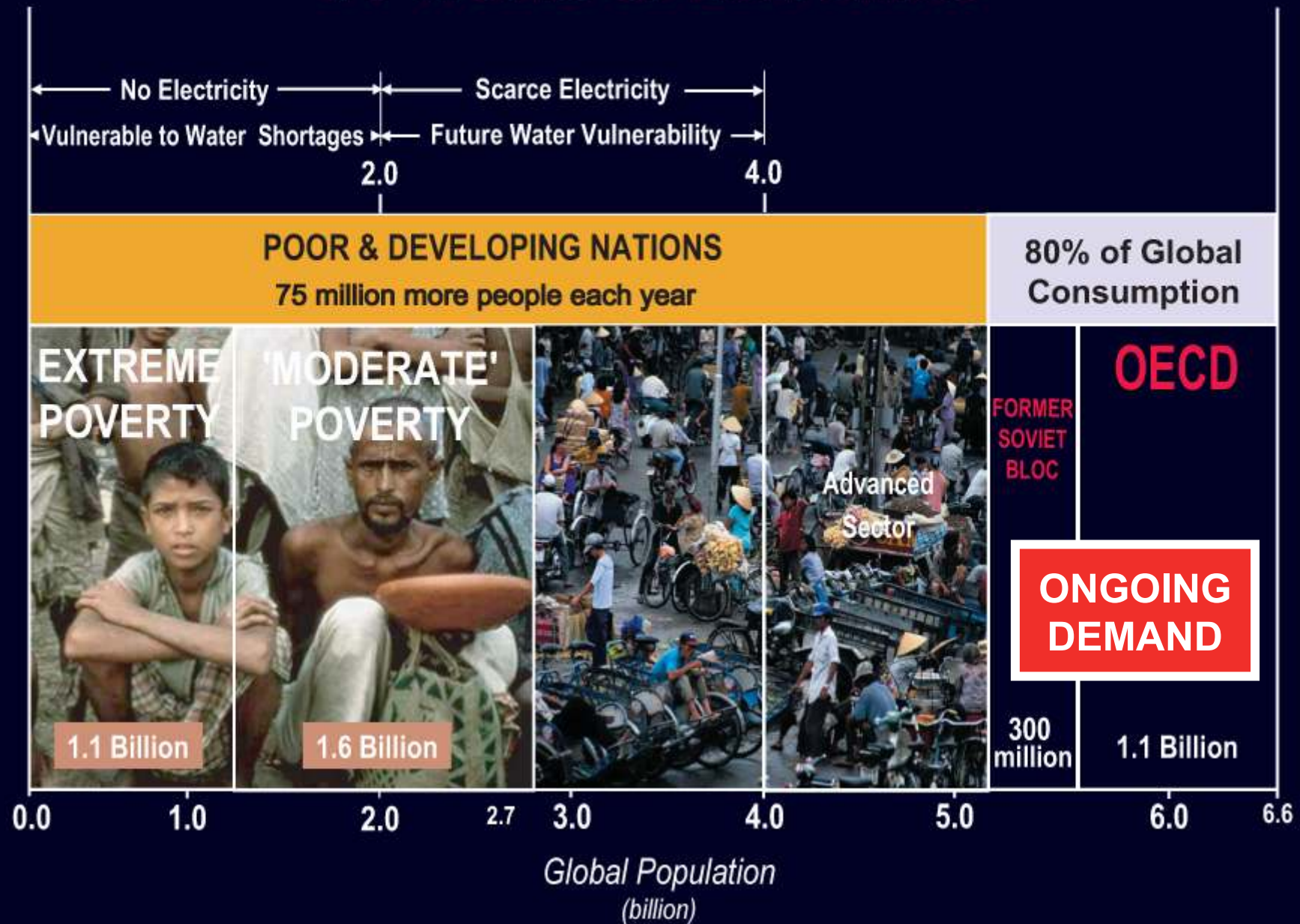
A World of Extremes



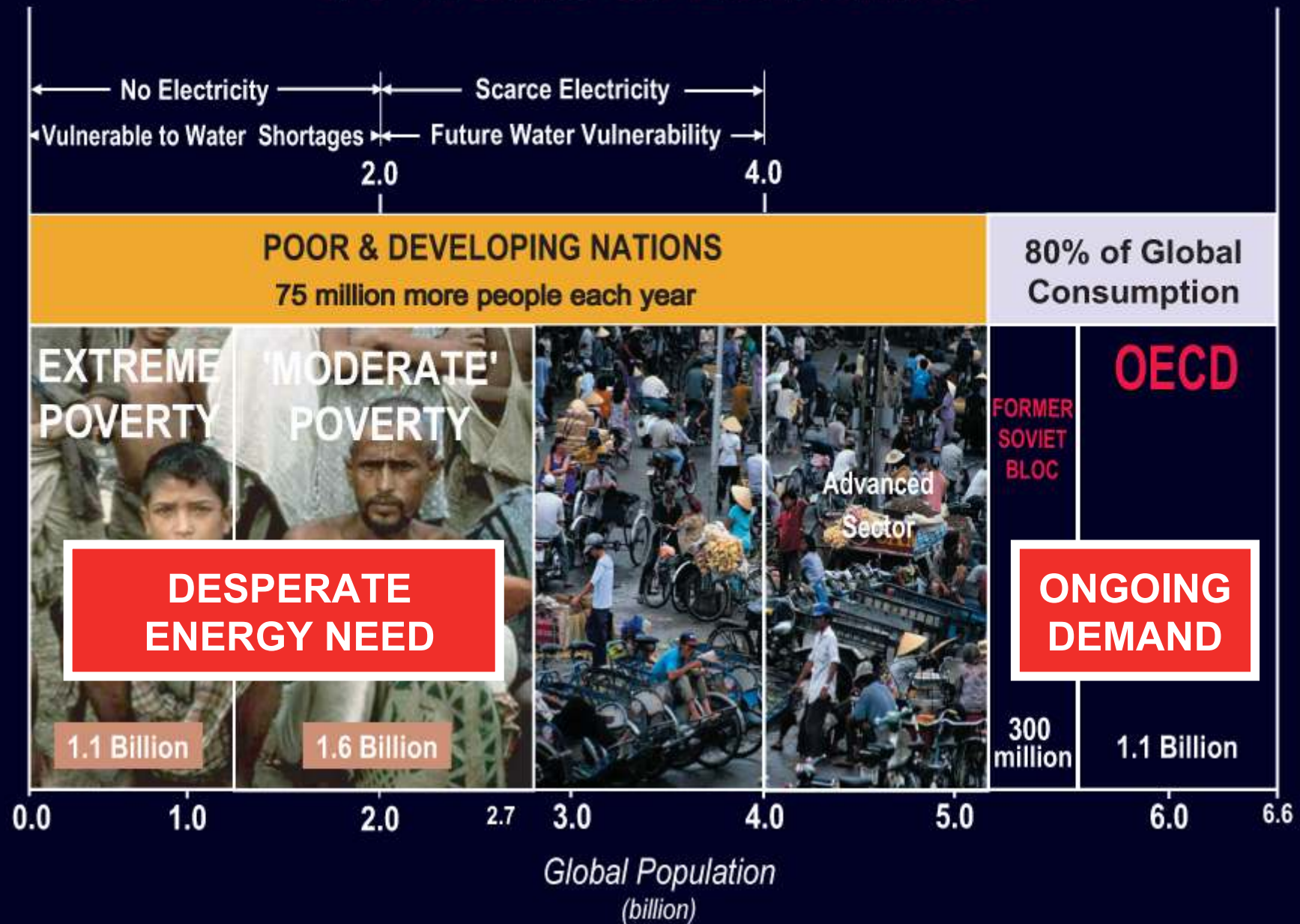
A World of Extremes



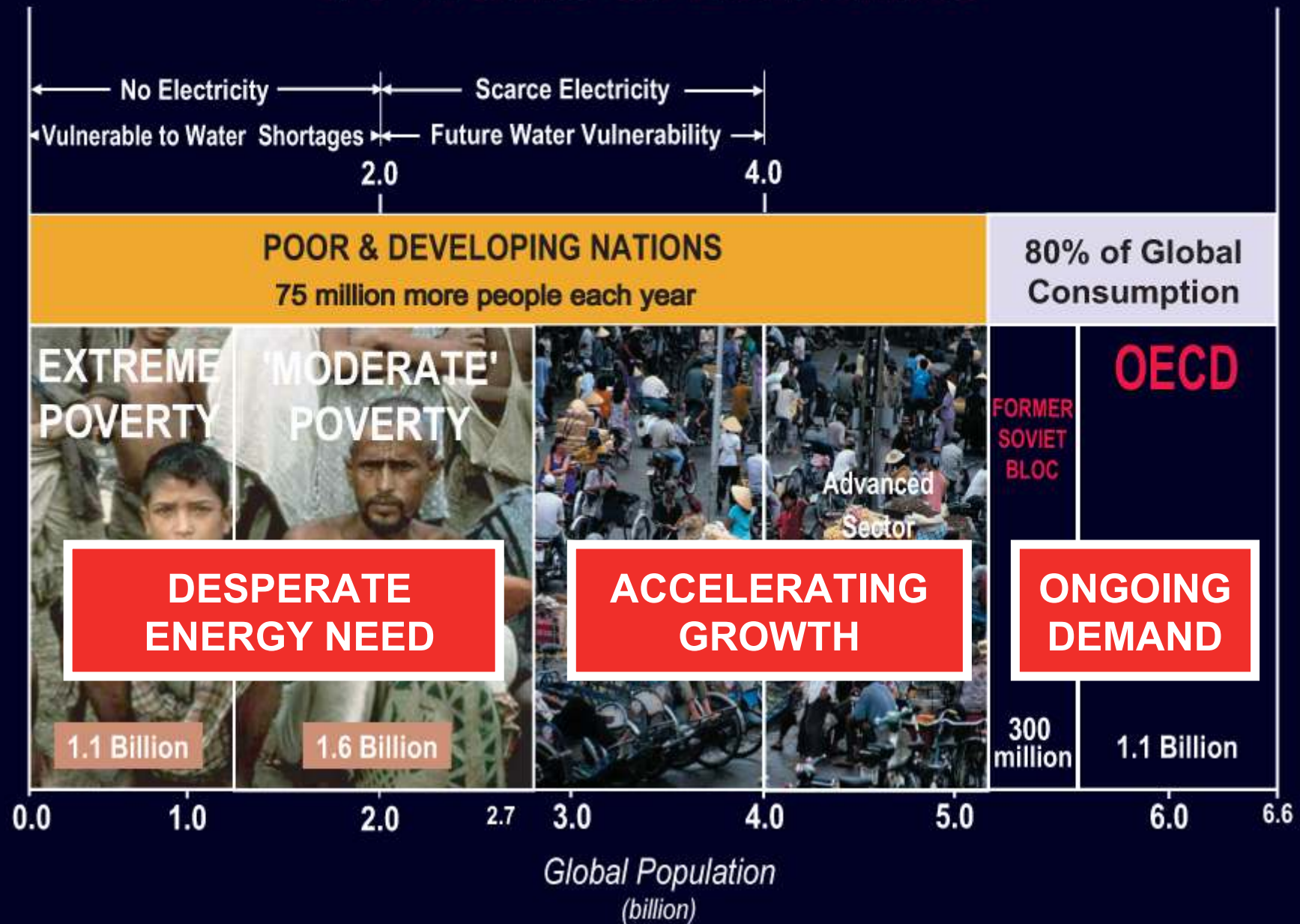
A World of Extremes



A World of Extremes



A World of Extremes

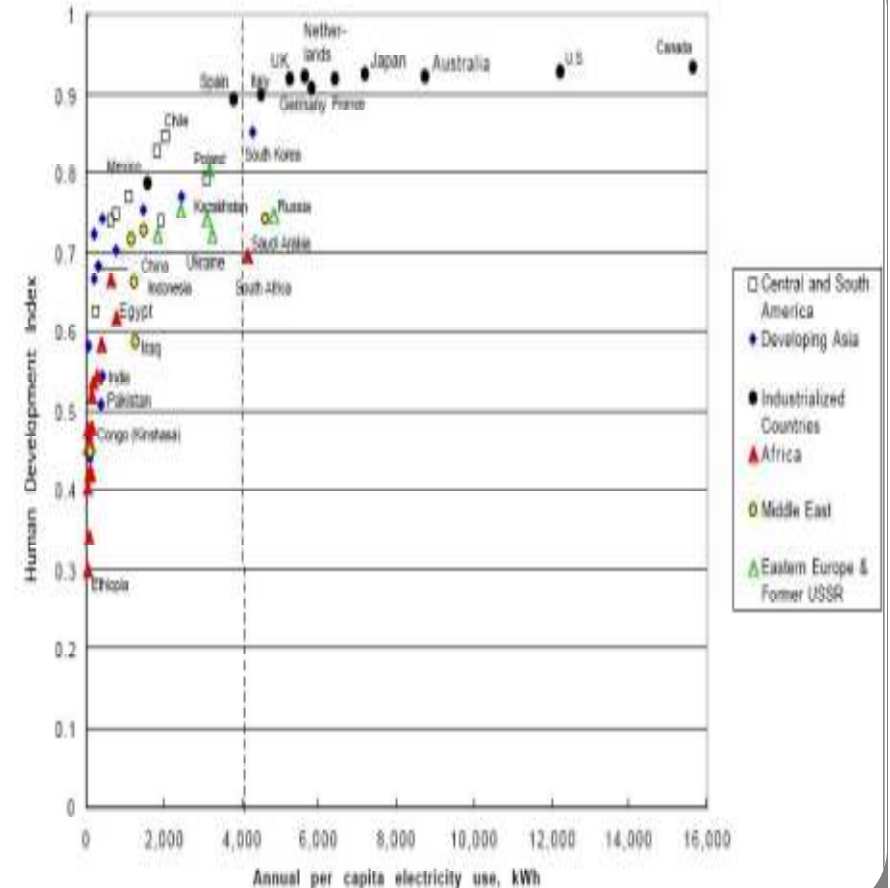
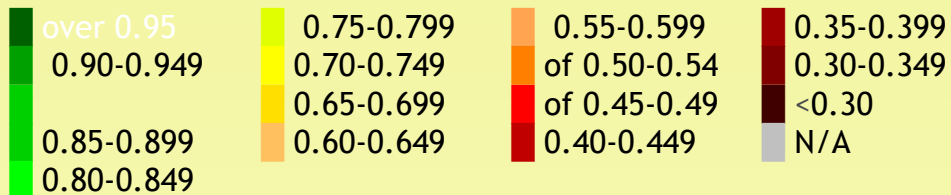
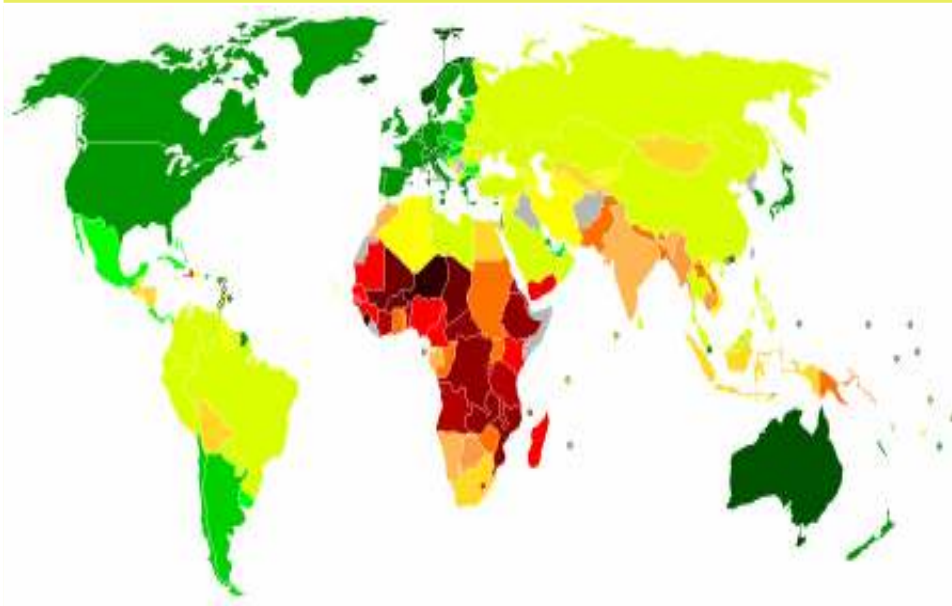


The UN human development index

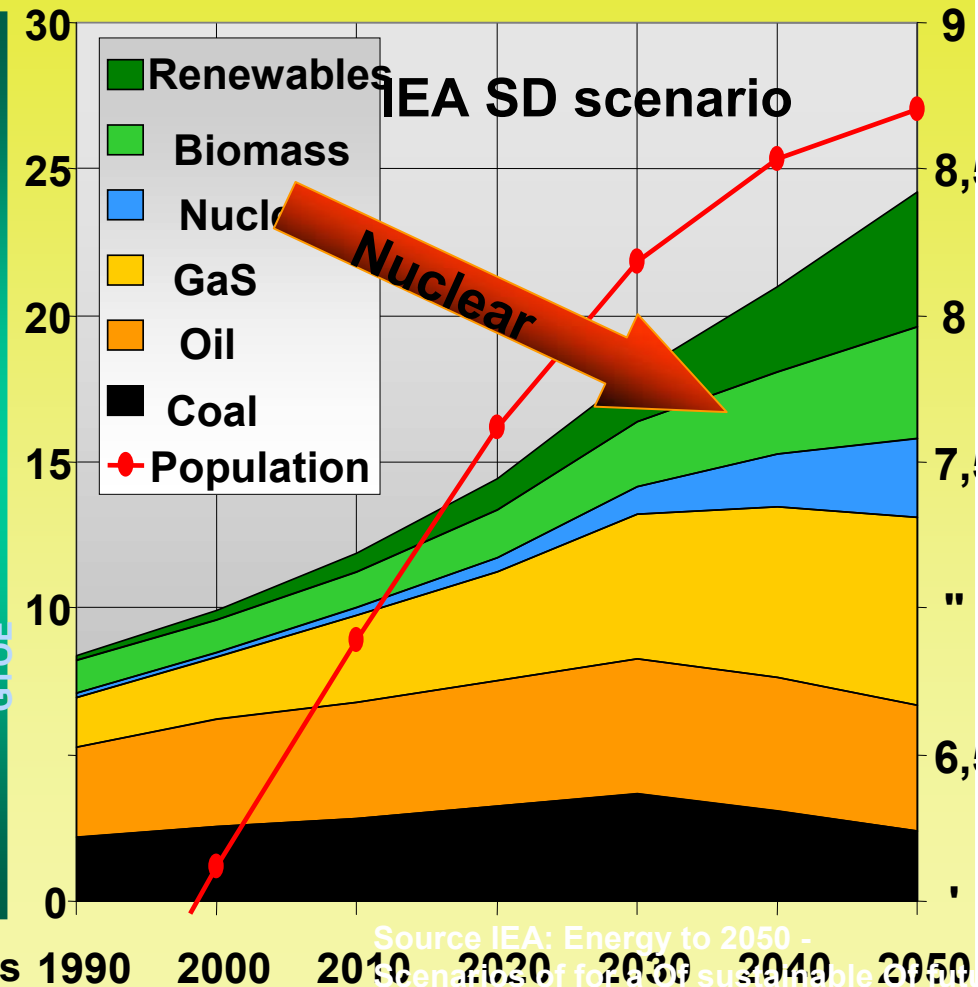
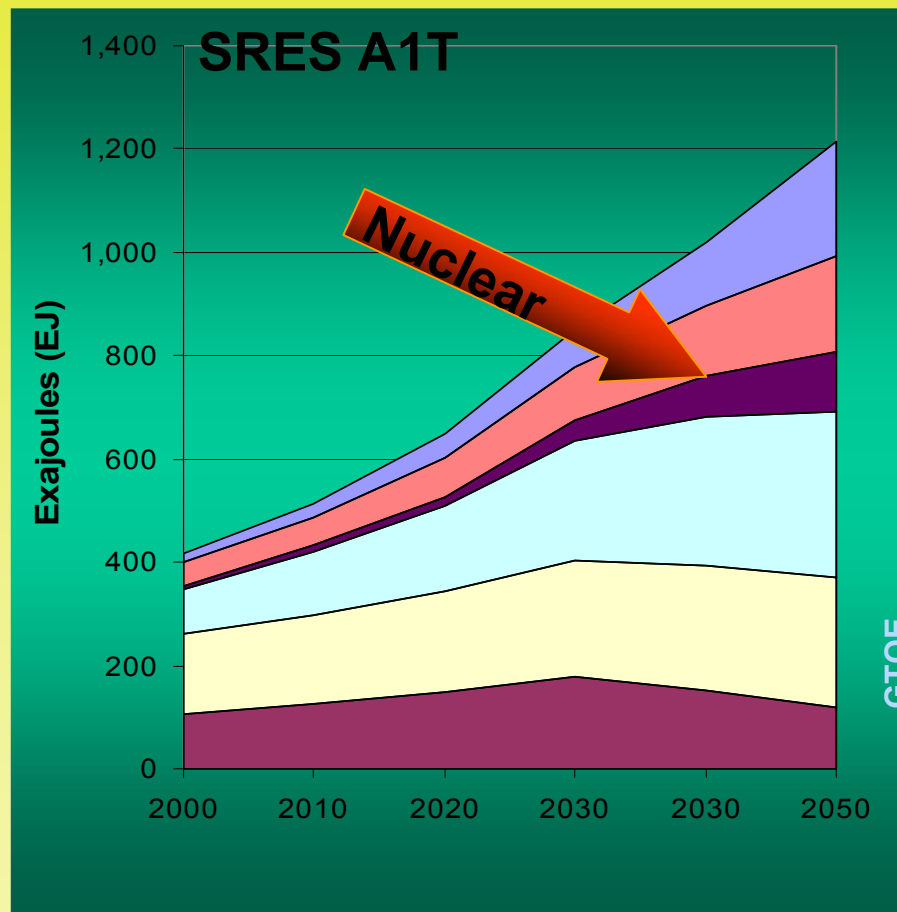


(based on GDP, Life expectancy and Education)

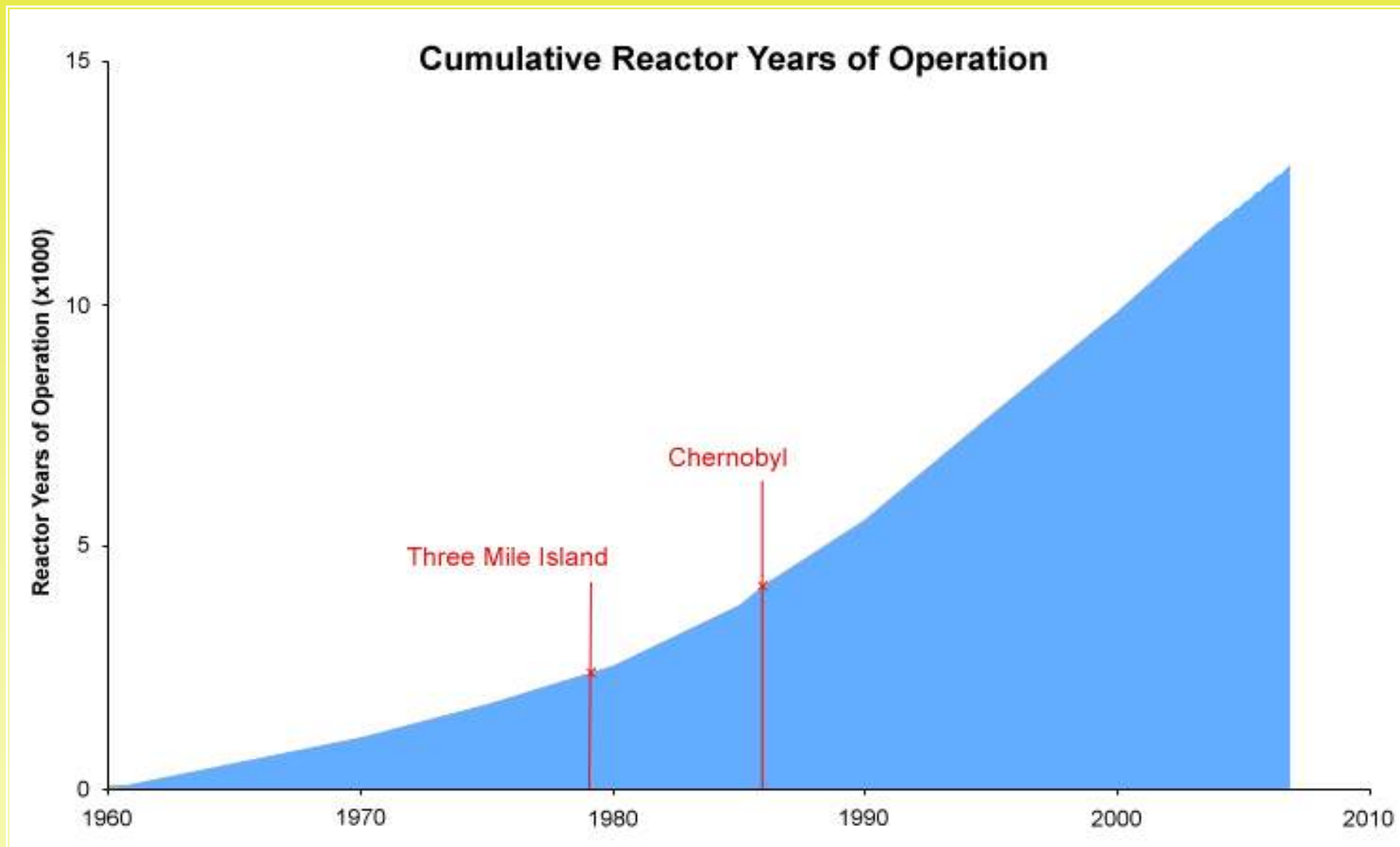
HDI and Electricity



Nuclear power has to play a role in a sustainable energy system



Nuclear power operational history



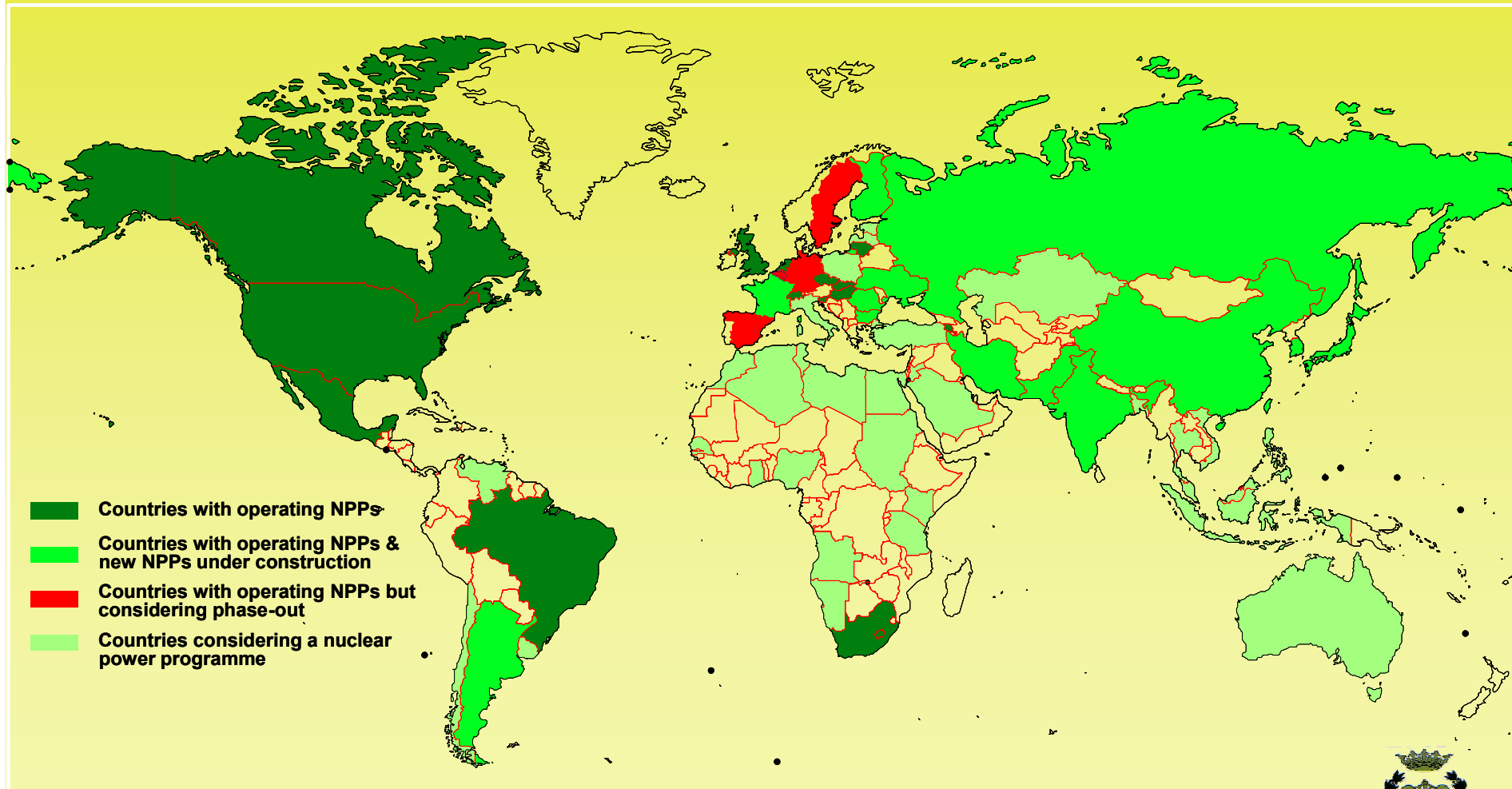


Nuclear Renaissance: A Global Reality

- Continuing evolutionary advance in reactor technology
- Multinational research to produce quantum leaps in technology
- Unprecedented levels of efficiency & capacity utilisation in key countries
- A robust and accumulating record of operational safety, backed by a pervasive global nuclear safety culture
- Political progress in implementing the scientifically sound concept of waste disposal using deep geological repositories
- The truest barometer: expansive growth plans for nuclear power in major nations in both the developed and developing worlds

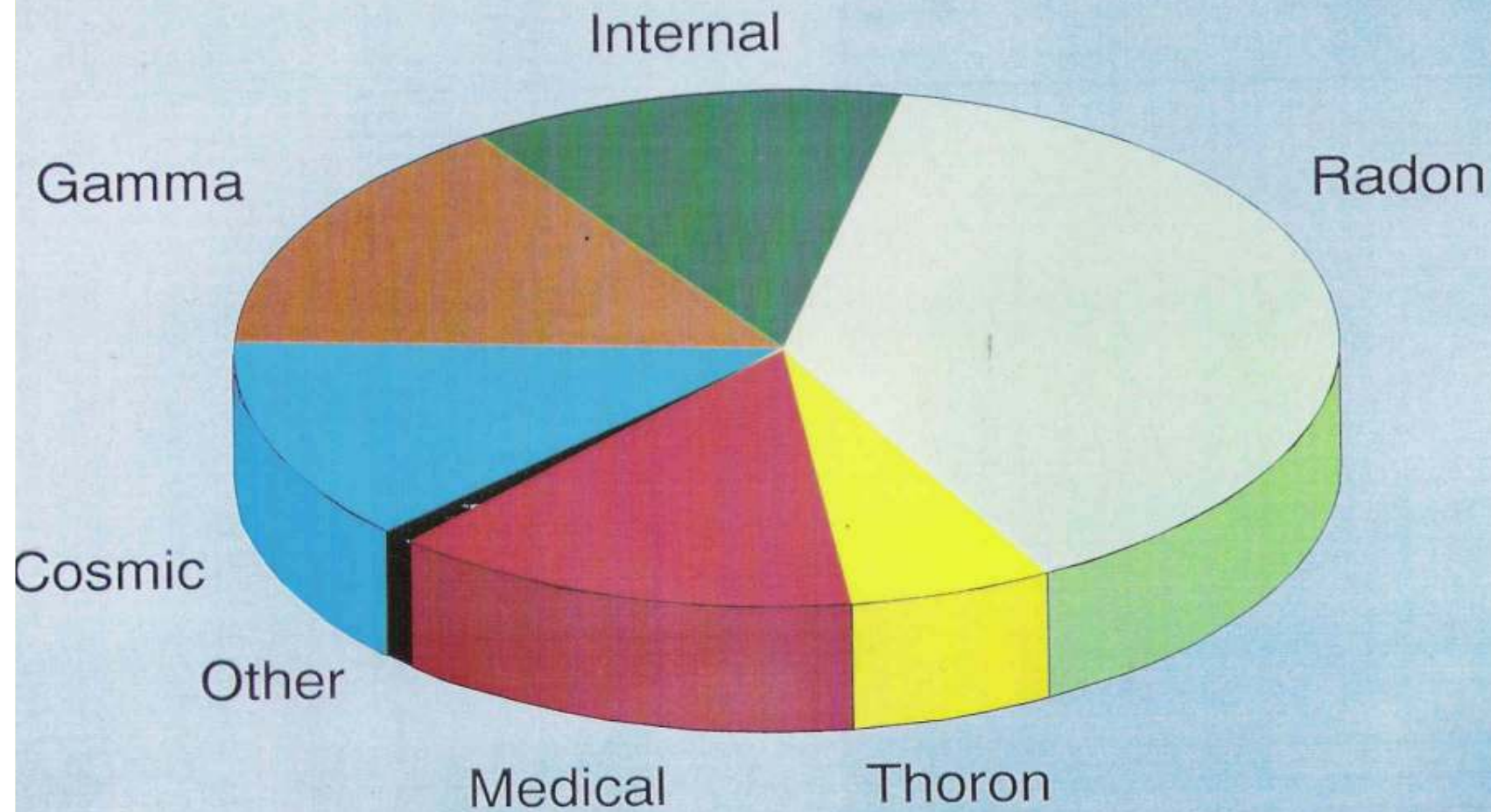


A Global Challenge

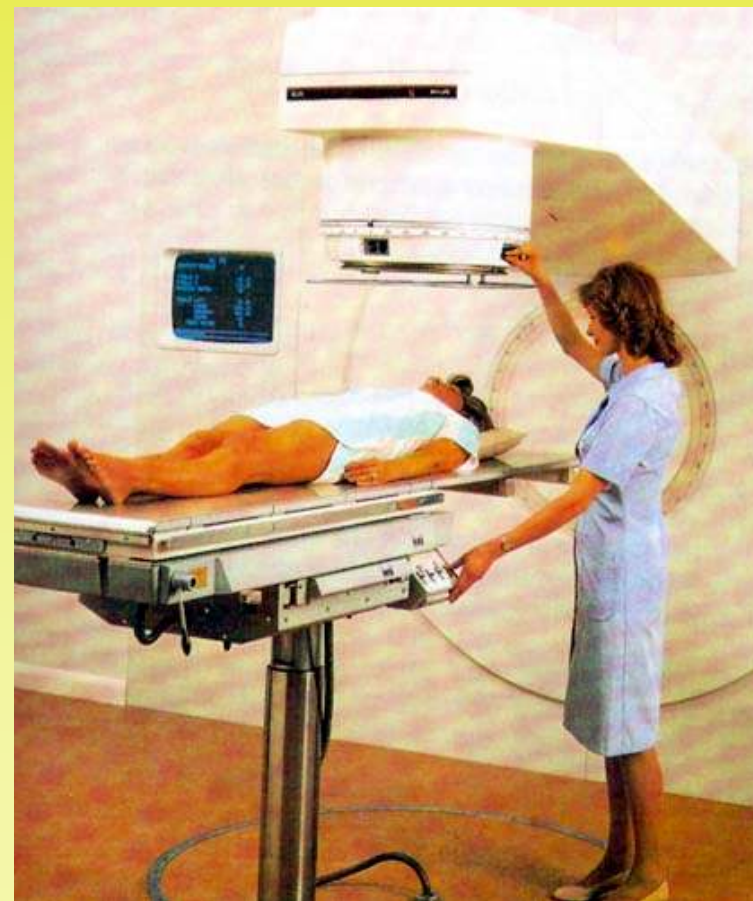


Energia Nuclear

Figure 1 World average dose from radiation sources: total 2.8 mSv a year



Las Aplicaciones en medicina



Las Aplicaciones Industriales y la Investigación



Prof. Ph.D. J. Dies

Sincrotrón-Alba

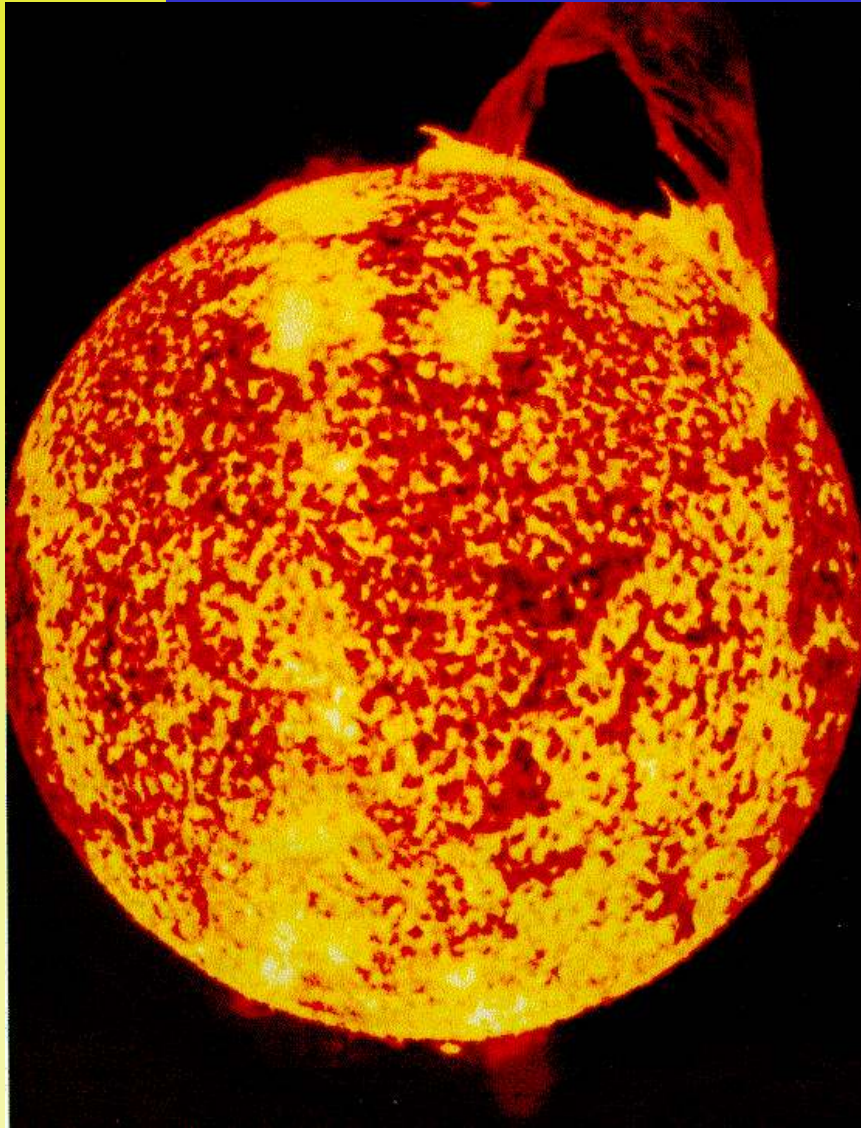


Cerdanyola-Barcelona

Prof. Ph.D. J. Dies

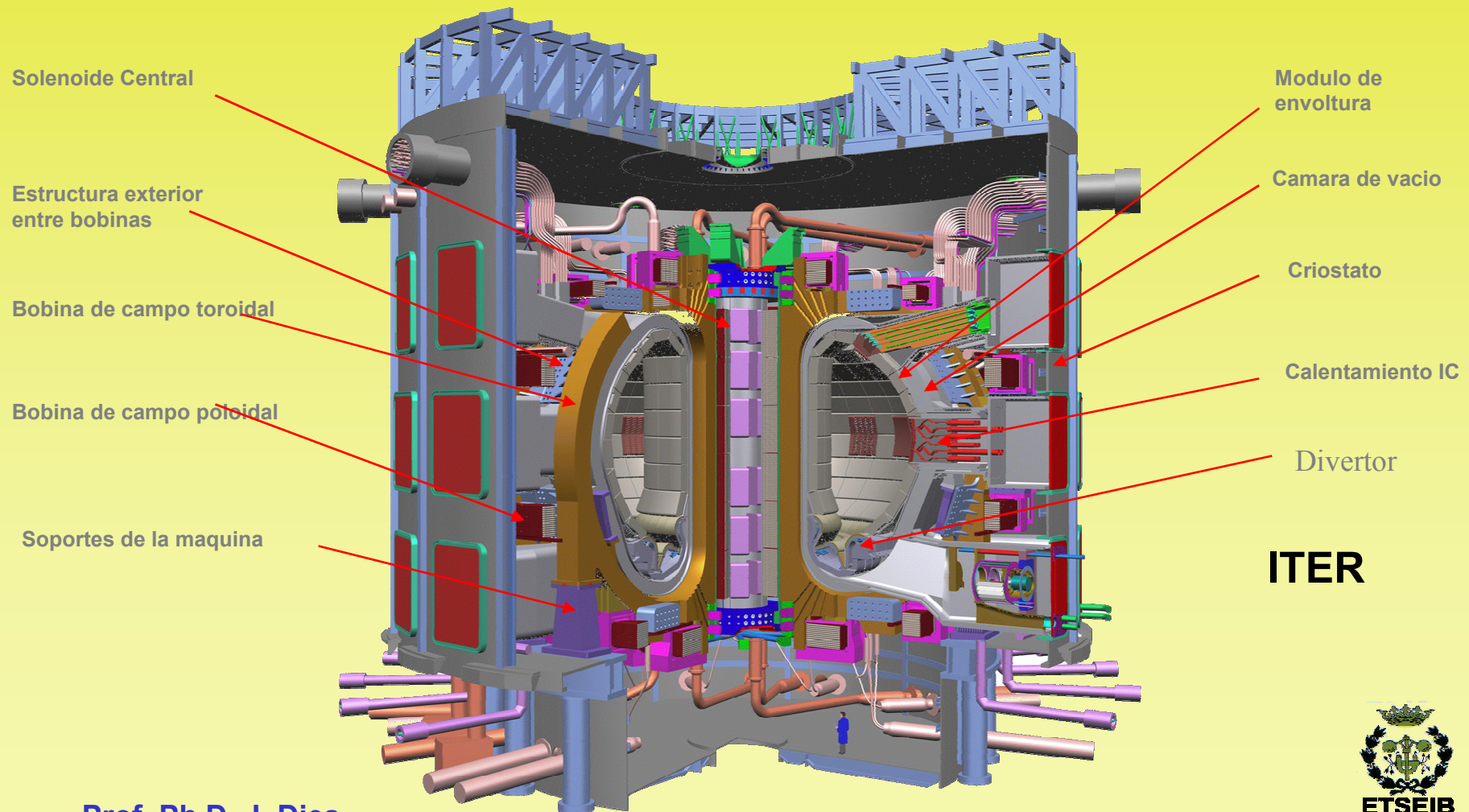


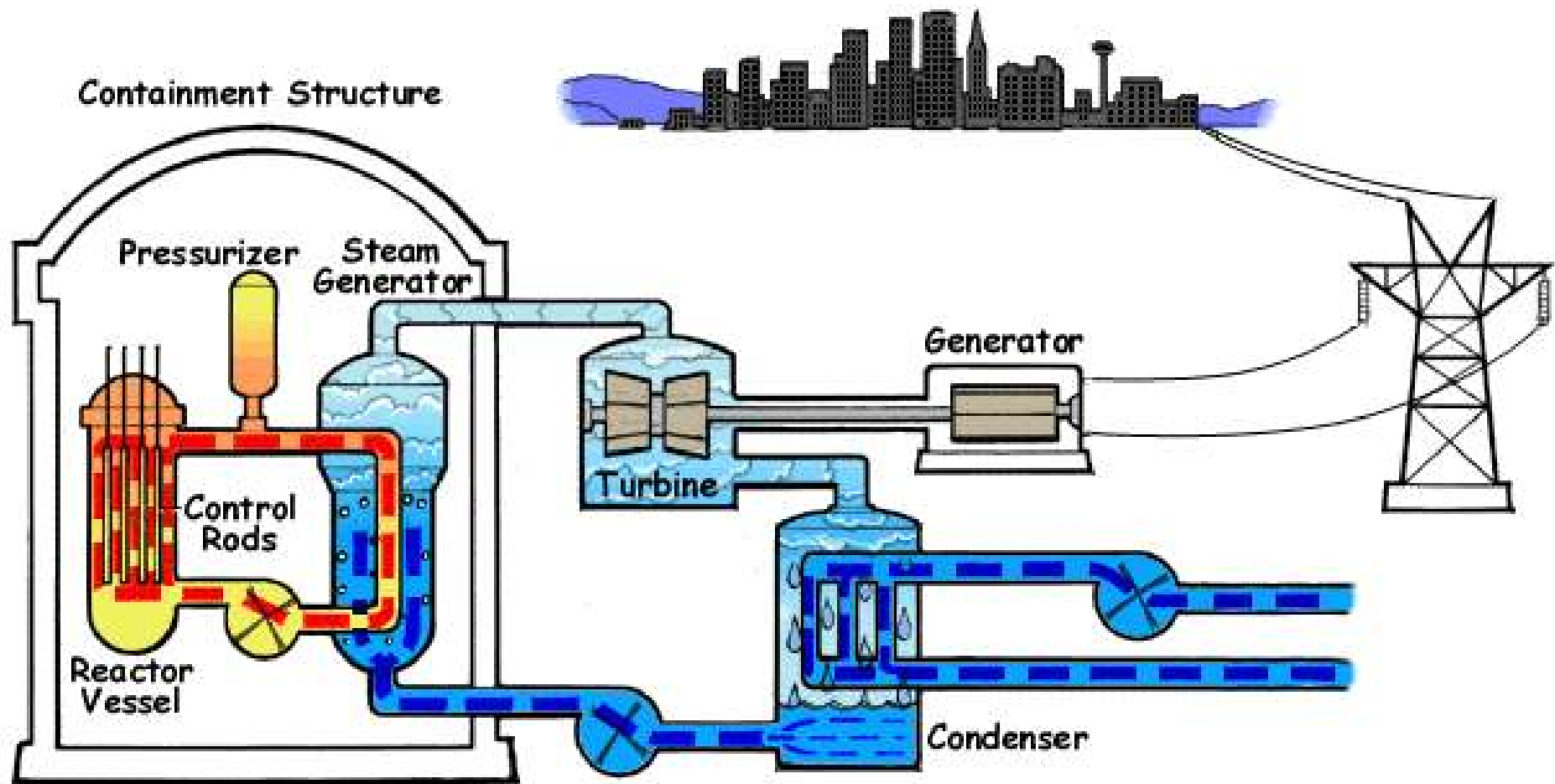
La Energía Nuclear desde siempre.



El Sol un reactor nuclear natural .

Agencia Europea: Fusion for Energy – Barcelona Reactor Nuclear en Cadarache (Francia)









USA:

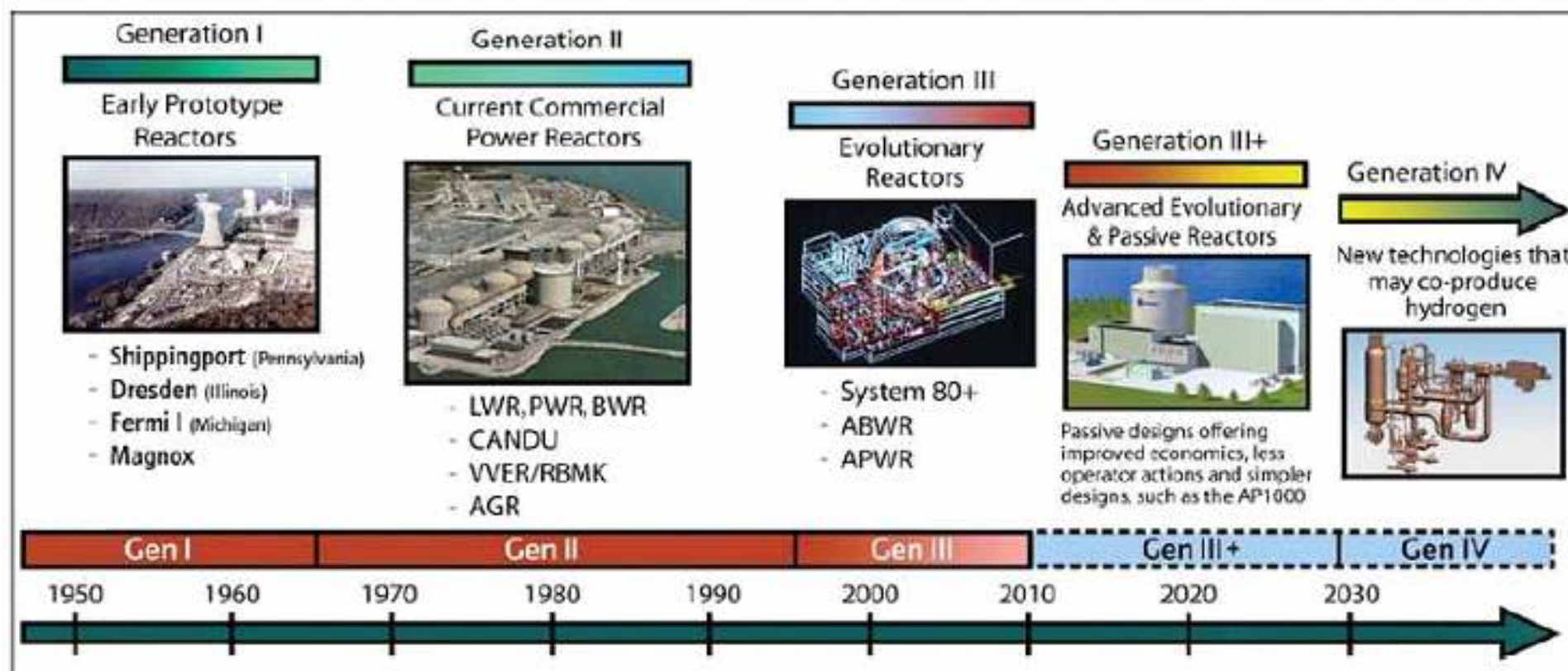


- programa renovación licencias Centrales Nucleares a 60 años.
- programa de construcción de nuevas Centrales Nucleares.



Prof. Ph.D. J. Dies





	NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION 2007		REACTORS OPERABLE		REACTORS under CONSTRUCTION		REACTORS PLANNED		REACTORS PROPOSED	
	billion kWh	% e	Oct 2008 No.	MWe	Oct 2008 No.	MWe	Oct 2008 No.	MWe	Oct 2008 No.	MWe
Argentina	6.7	6.2	2	935	1	692	1	740	1	740
Armenia	2.35	43.5	1	376	0	0	0	0	1	1000
Bangladesh	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2000
Belarus	0	0	0	0	0	0	2	2000	0	0
Belgium	46	54	7	5728	0	0	0	0	0	0
Brazil	11.7	2.8	2	1901	0	0	1	1245	4	4000
Bulgaria	13.7	32	2	1906	0	0	0	0	1	1000
Canada	88.2	14.7	18	12652	2	1500	3	3300	4	4400
China	59.3	1.9	11	8587	7	6700	26	27620	76	62600
Czech Republic	24.6	30.3	6	3472	0	0	0	0	2	3400
Egypt	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1000
Finland	22.5	29	4	2656	1	1600	0	0	1	1000
France	420.1	77	59	63473	1	1630	0	0	1	1600
Germany	133.2	26	17	20339	0	0	0	0	0	0
Hungary	13.9	37	4	1826	0	0	0	0	2	2000
India	15.8	2.5	17	3779	6	2976	10	9760	15	11200
Indonesia	0	0	0	0	0	0	2	2000	2	2000
Iran	0	0	0	0	1	915	2	1900	1	300
Israel	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1200
Japan	267	27.5	55	47577	2	2285	11	14945	1	1100
Kazakhstan	0	0	0	0	0	0	0	0	2	600
Korea DPR (North)	0	0	0	0	0	0	1	950	0	0
Korea RO (South)	136.6	35.3	20	17533	3	3000	5	6600	2	2700
Lithuania	9.1	64.4	1	1185	0	0	0	0	2	3400
Mexico	9.95	4.6	2	1310	0	0	0	0	2	2000
Netherlands	4.0	4.1	1	485	0	0	0	0	0	0
Pakistan	2.3	2.34	2	400	1	300	2	600	2	2000
Romania	7.1	13	2	1310	0	0	2	1310	1	655
Russia	148	16	31	21743	7	4810	12	14340	25	22285
Slovakia	14.2	54	5	2094	2	840	0	0	1	1200
Slovenia	5.4	42	1	696	0	0	0	0	1	1000
South Africa	12.6	5.5	2	1842	0	0	1	165	24	4000
Spain	52.7	17.4	8	7488	0	0	0	0	0	0
Sweden	64.3	46	10	9016	0	0	0	0	0	0
Switzerland	26.5	43	5	3220	0	0	0	0	3	4000
Thailand	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4000
Turkey	0	0	0	0	0	0	2	2400	1	1200
Ukraine	87.2	48	15	13168	0	0	2	1900	20	27000
United Kingdom	57.5	15	19	11035	0	0	0	0	6	9600
USA	806.6	19.4	104	100599	0	0	12	15000	20	26000
Vietnam	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2000
WORLD	2608	15	439	373,247	36	29,848	99	108,675	232	211,675
	billion kWh	% e	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe
NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION 2007			REACTORS OPERATING		REACTORS BUILDING		ON ORDER or PLANNED		PROPOSED	



País	Política nuclear
Italia	El Gobierno ha anunciado la intención de eliminar la prohibición nuclear y se espera iniciar la construcción de centrales antes de 2013
Polonia	En proyecto la primera central nuclear y con intención de construir hasta 5.
Holanda	Reconsideración de la política energética que dejaba de lado la opción nuclear
Reino Unido	Ha anunciado un programa de construcción masiva de centrales nucleares
España	Sin política energética. Ha cerrado un emplazamiento y el dilema es si se cierra la central de Garoña. El ministro de industria afirmó que “en España no habrá nuevas centrales”
Alemania	Presiones de industrias para anular la actual moratoria

Finlandia	Finalizando la primera central nuclear, aprobada la segunda y más en proyecto
República checa	El partido en el poder quiere acabar con la moratoria vigente
Hungría	No tiene planes de construcción
Bulgaria	Una central está en proceso de ser licenciada. Ha solicitado permiso de la UE para reactivar dos reactores de tipo soviético cuya parada fue una condición para ingresar en la UE.
Suiza	El objetivo es generar el 100% sin emisiones a partir de energía nuclear e hidroeléctrica. Estima comenzar antes de 2015 un nuevo reactor
Suecia	Acaba de anunciar el fin de la moratoria
Bélgica	Actualmente en proceso de cerrar sus 7 reactores. Creciente oposición en el actual Gobierno a que ello suceda
Eslovaquia	Considera volver a abrir un antiguo reactor
Francia	Considerada una opción estratégica, inicia la construcción de reactores de nueva generación en breve.



Centrales Nucleares en Construcción



Under Construction

Country	No. of Units	Total MW(e)
ARGENTINA	1	692
BULGARIA	2	1906
CHINA	6	5220
FINLAND	1	1600
FRANCE	1	1600
INDIA	6	2910
IRAN, ISLAMIC REPUBLIC OF	1	915
JAPAN	1	866
KOREA, REPUBLIC OF	3	2880
PAKISTAN	1	300
RUSSIAN FEDERATION	7	4789
UKRAINE	2	1900
UNITED STATES OF AMERICA	1	1165
Total:	35	29343

(Abril 2008)



EVOLUCIÓN DEL INCREMENTO DEL CONSUMO (%)

INCREASE OF NET CONSUMPTION (%)

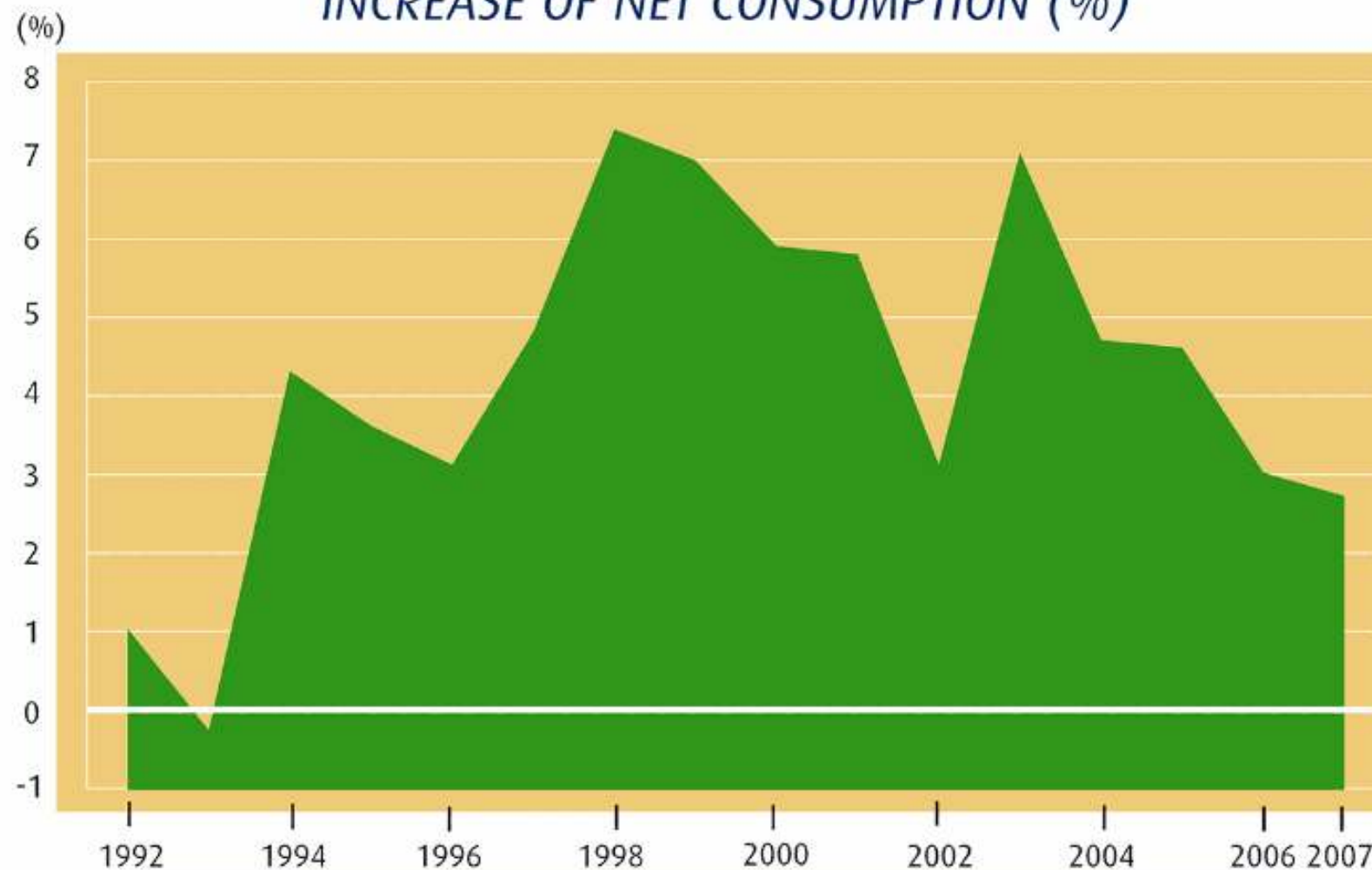
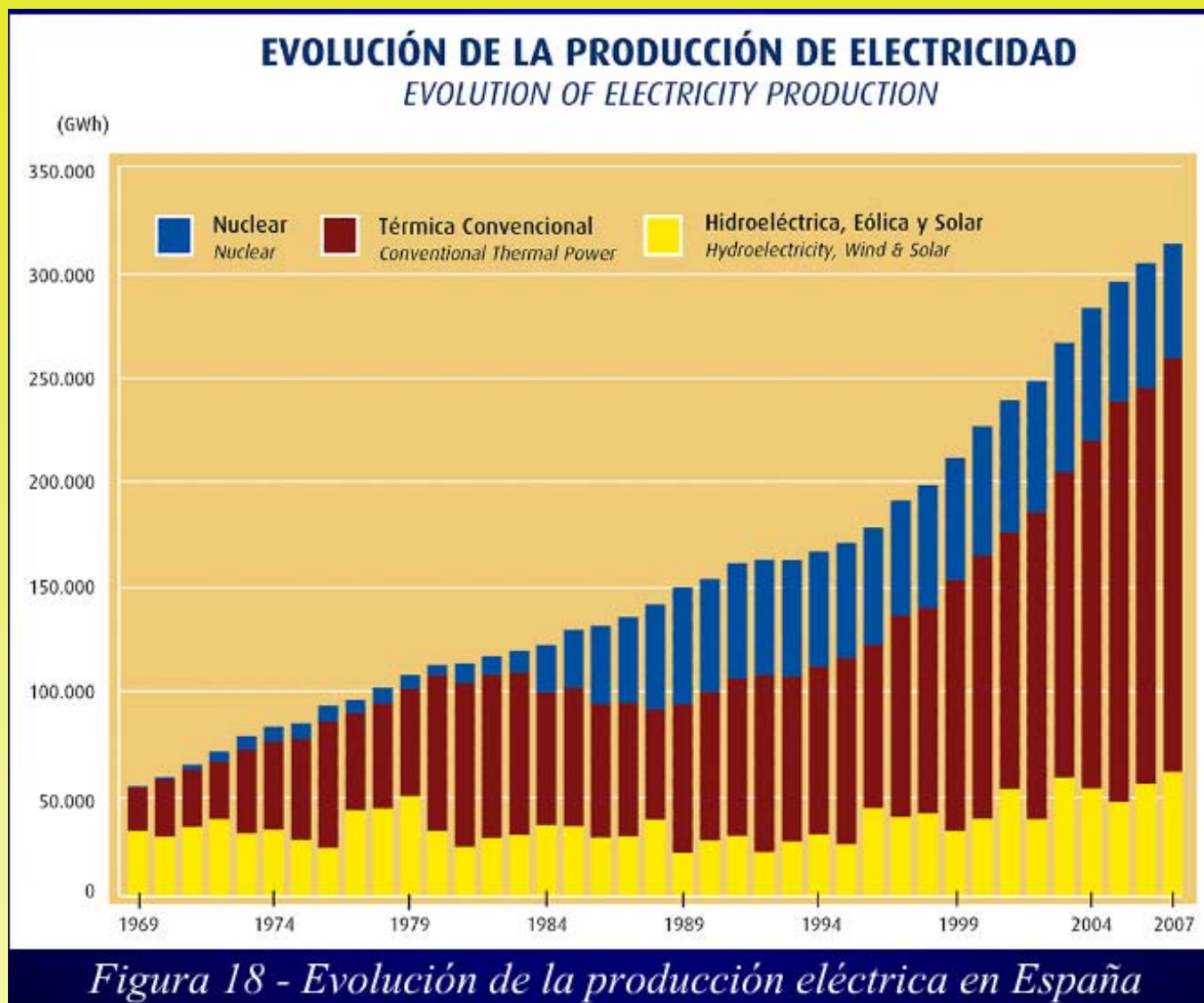


Figura 19 - Evolución del incremento de consumo eléctrico en España



Seguridad de Suministro: incidente, en un día de marzo de 2005 se dejaron de subministrar 3000 MW de electricidad en España, esto es equivalente a dejar sin energía eléctrica al 50 % de Catalunya.

Prof. Ph.D. J. Dies

Autoabastecimiento energético de España!!!!



GRADO DE AUTOABASTECIMIENTO DE ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA

Año		Carbón	Petróleo	Gas	Hidráulica	Nuclear	Resto	TOTAL
1998	.....	51.6	0.9	0.8	100	100	100	26.1
1999	.....	41.8	0.5	0.9	100	100	100	23.5
2000	.....	38.6	0.3	1.0	100	100	100	23.3
2001	.....	40.3	0.5	2.9	100	100	100	24.2
2002	.....	35.1	0.5	2.5	100	100	100	22.1
2003	.....	35.4	0.5	0.9	100	100	100	22.1
2004	.....	33.1	0.4	1.3	100	100	100	21.3
2005	.....	31.3	0.2	0.5	100	100	100	19.0
2006	.....	33.8	0.2	0.2	100	100	100	19.8
2007	.....	29.1	0.2	0.0	100	100	100	18.6

Fuente: DGPEM (Ministerio de Economía) y SGE (MITYC)

Datos en porcentaje

Tabla 4 - Grado de autoabastecimiento de energía primaria en España

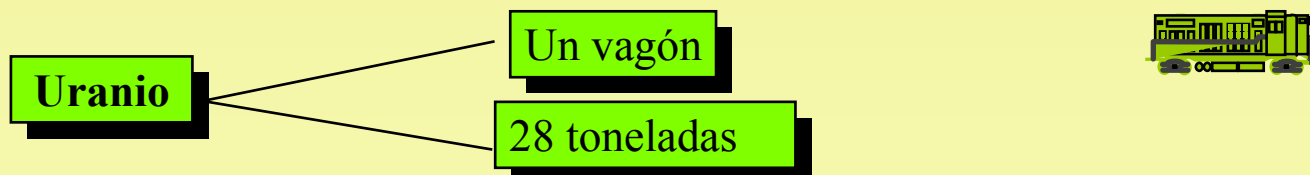
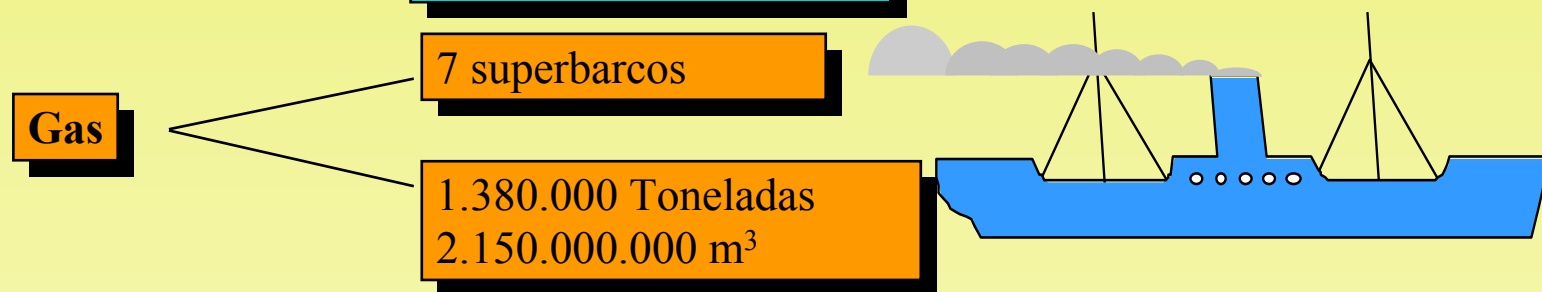
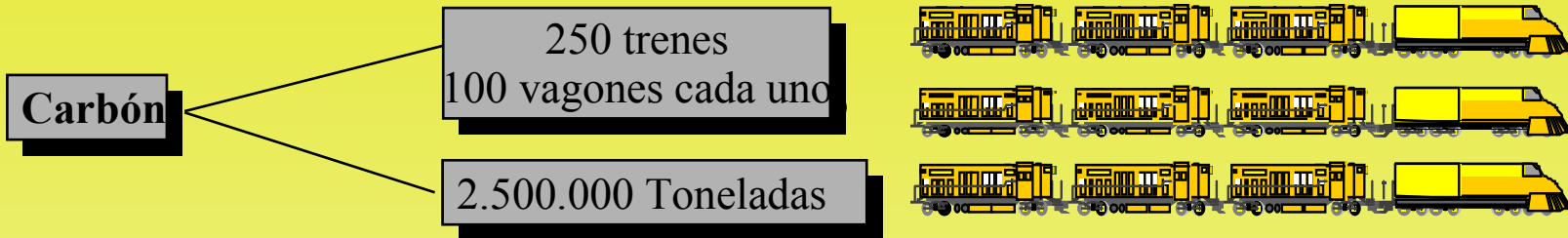
La Energia nuclear a favor del medio ambiente



TIPO DE CENTRAL	CARBÓN	FUEL / GAS	GAS NATURAL CICLO COMB.	TOTAL TÉRMICA CONVENC.	NUCLEAR
Consumo de Combustible	3.0 - 3.36 Mt	2.05 Mt	2,100 - 2,270 Mm ³	----	24.2 t*
CO ₂	7.67 Mt - 10.4 Mt ~ 8.7 Mt	4.7 Mt - 7.05 Mt 6.59 Mt	3.2 Mt - 4.2 Mt 3.07 Mt**	7.88 Mt	0
SO ₂	33,280 t - 243,528 t ~ 120,500 t	91,000 t 27,156 t	2,500 t - 3,390 t 61.32 t**	93,732 t	0
NO ₂	8,516 t - 53,492 t 29,346 t	2,715 t - 24,503 t 11,651 t	21,200 t - 28,000 t 10,512 t**	24,528 t	0
Partículas	1,752 t - 8,000 t ~ 4,500 t	1,650 t 876 t	---- 175.2 t	3,504 t	0

Comparación de emisiones anuales centrales electricas de 1000 Mwe con las mismas horas de funcionamiento.

Central Eléctrica 1000 MWe



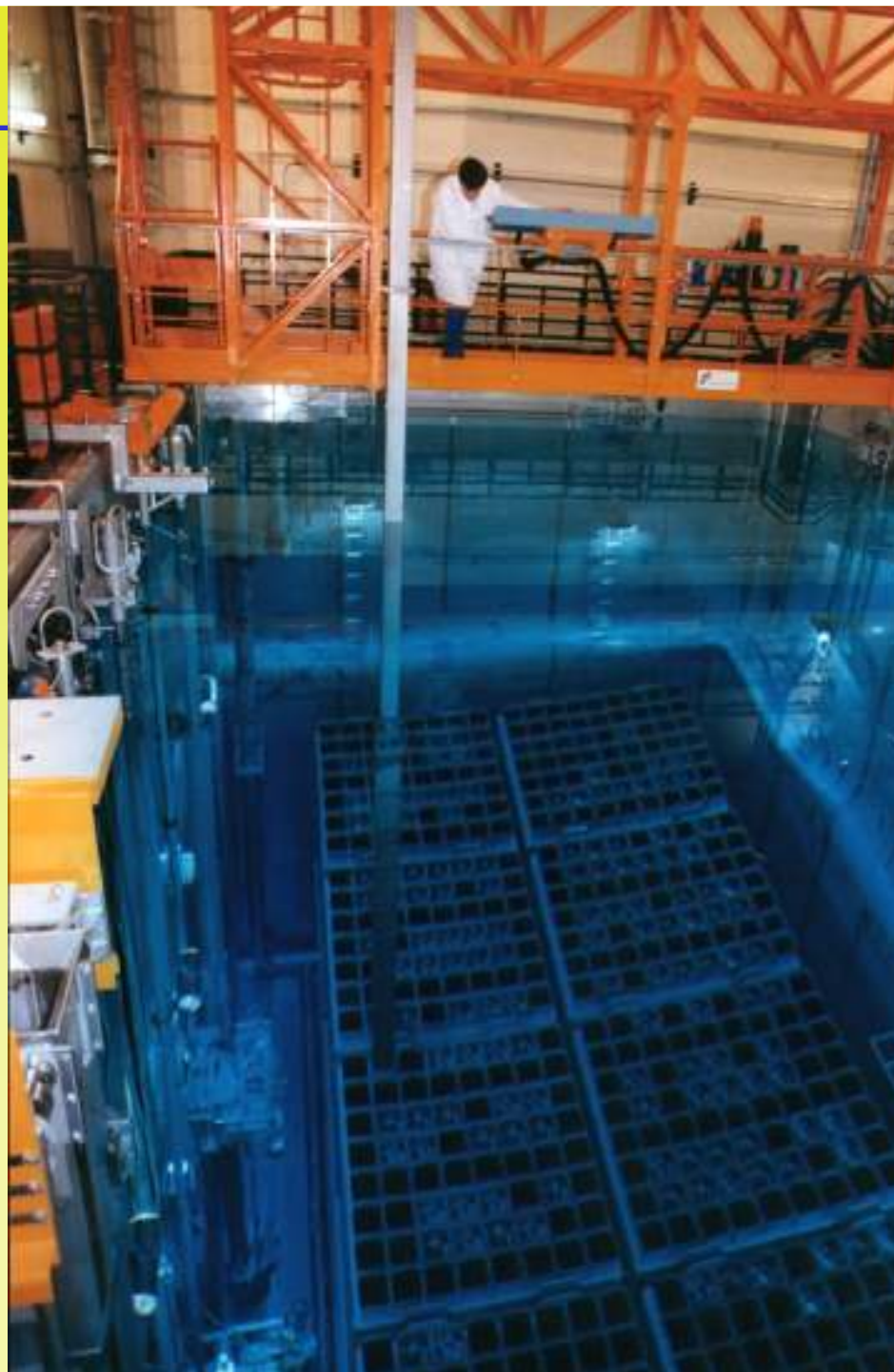
Gestión del combustible irradiado

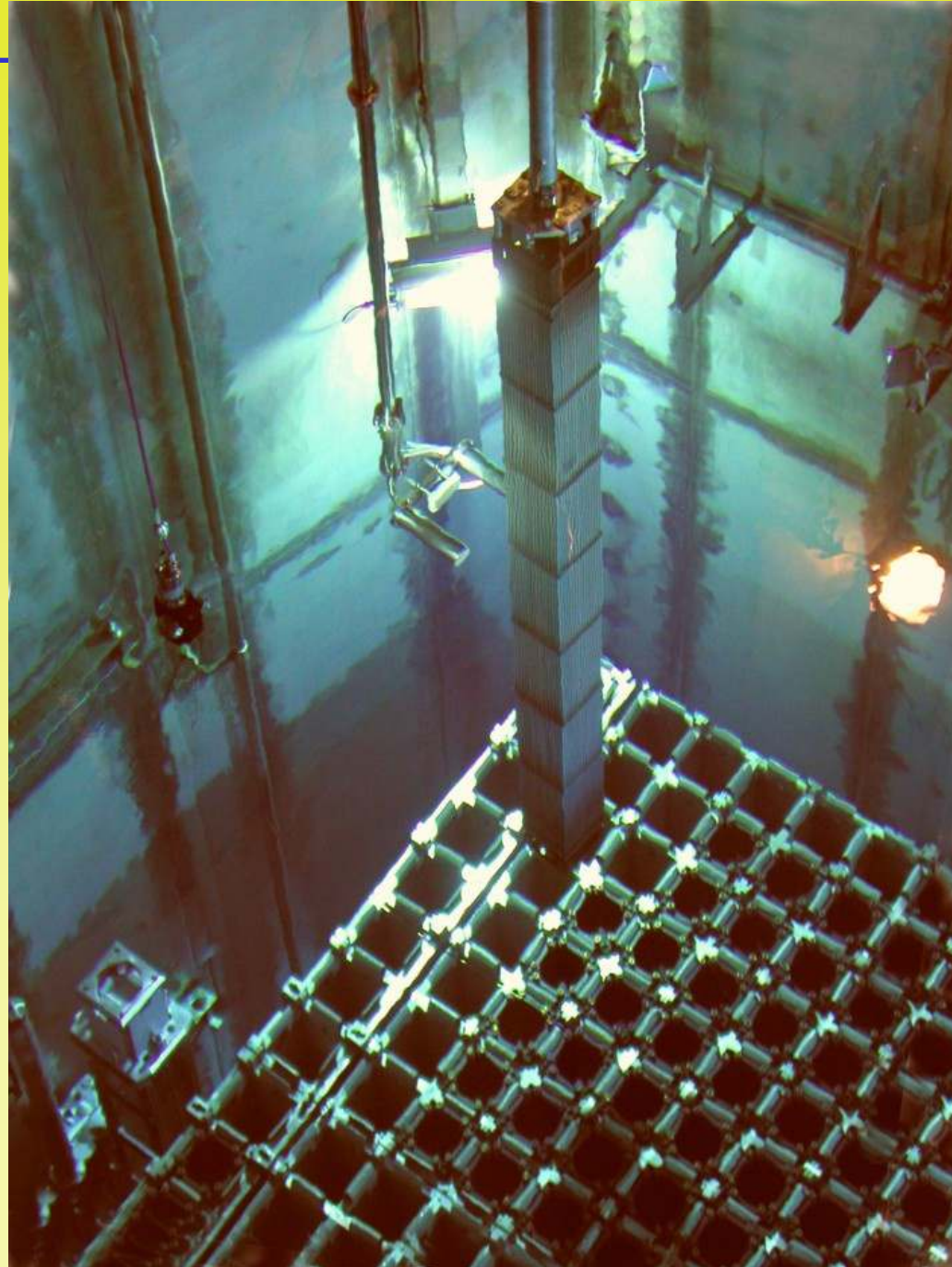
Existe una solución operativa

Seguridad en la Gestión del combustible irradiado

- En España hay 40 años de experiencia.**
- En Ascó i Vandellòs unos 24 años de experiencia.**

Se está haciendo de forma segura y respetuosa con el medio ambiente.



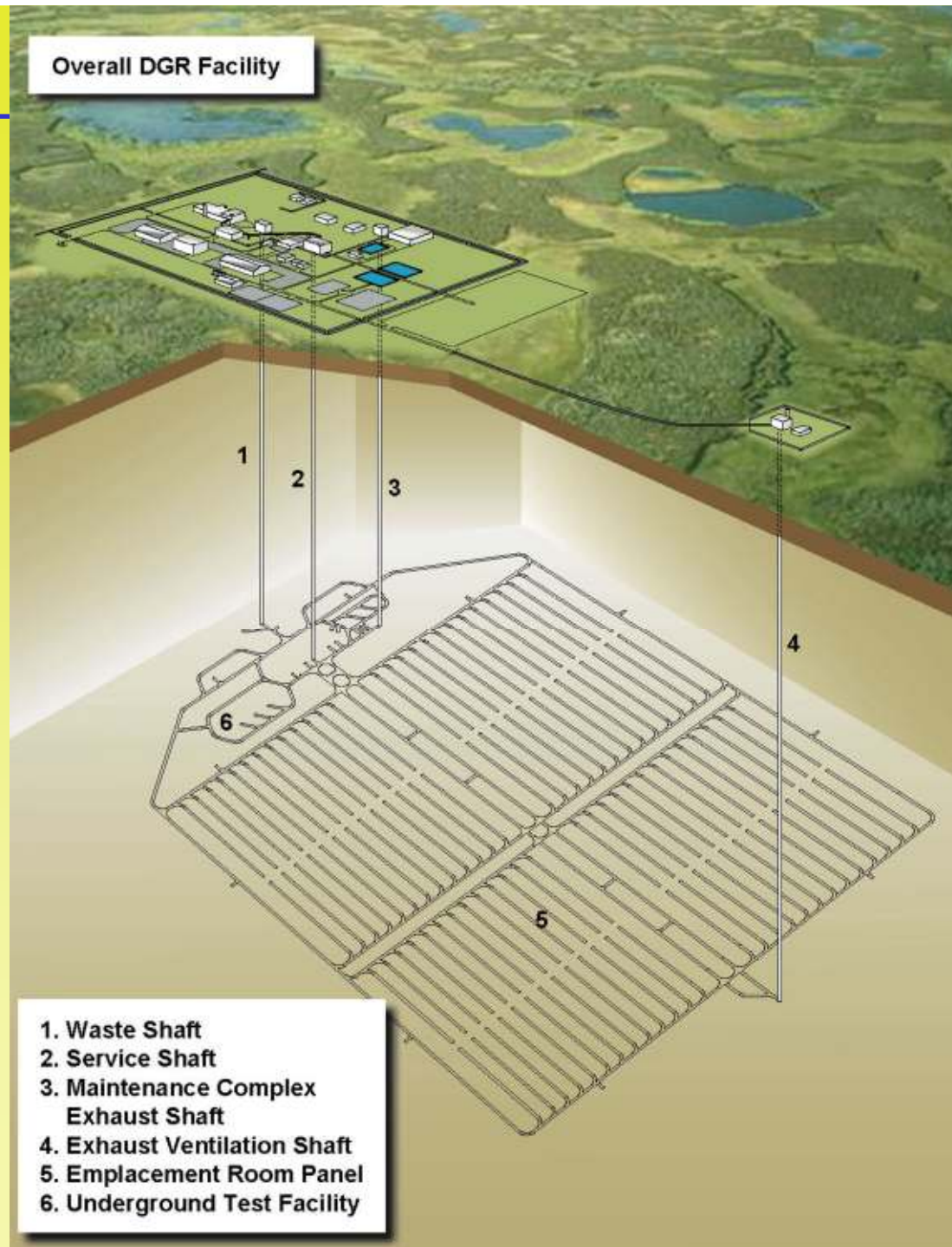


Almacen temporal de combustible irradiado



AGP

Overall DGR Facility



1. Waste Shaft
2. Service Shaft
3. Maintenance Complex
Exhaust Shaft
4. Exhaust Ventilation Shaft
5. Emplacement Room Panel
6. Underground Test Facility



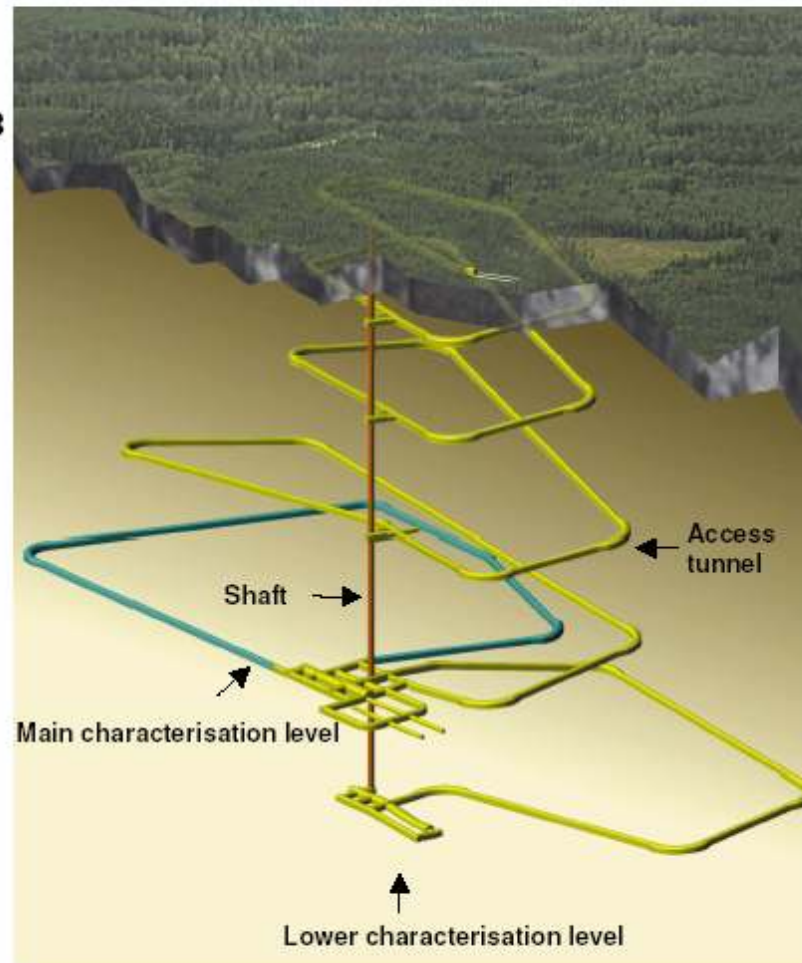
ONKALO lay-out and technical information

TECHNICAL INFORMATION

- Excavation volume 330,000 m³
- Access tunnel
- Length 5.5 km
- Inclination 1:10
- Size 5.5 x 6.3 m
- Total length of tunnels 8.3 km
- Diameter of shaft 6 m
- Characterisation levels
 - at a depth of 420 m (main)
 - at a depth of 520 m

TIME-TABLE

- Start summer 2004
- Completion 2010



www.posiva.fi

ONKALO excavation started in summer 2004

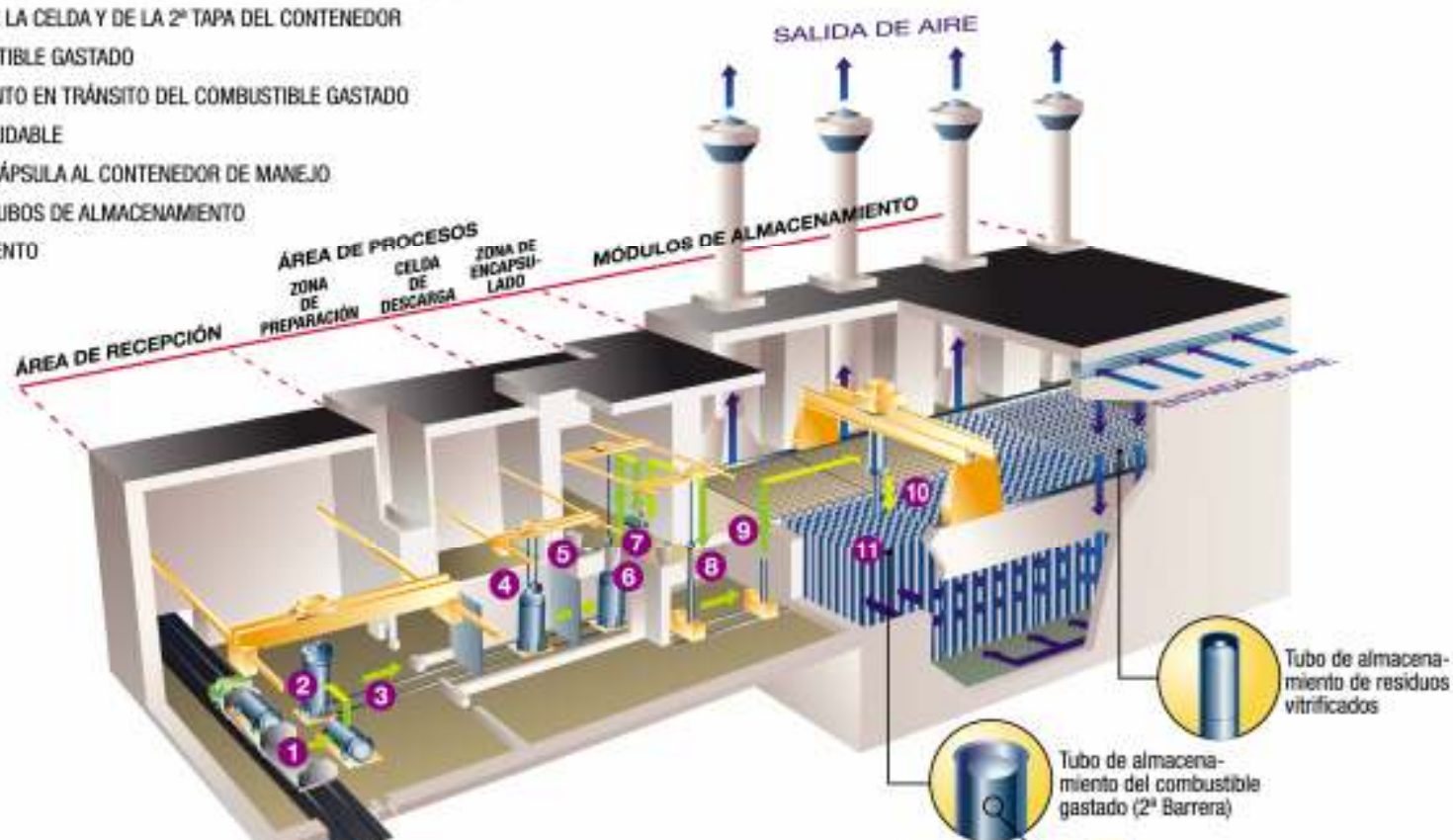


Prof. Ph.D. J. Dies



Almacen Temporal Centralizado

- 1 INTRODUCCIÓN DEL CONTENEDOR EN EL ÁREA DE RECEPCIÓN
- 2 VOLTEO DEL CONTENEDOR A LA POSICIÓN VERTICAL
- 3 CARRO DE TRANSFERENCIA
- 4 RETIRADA DE LA 1ª TAPA Y COMPROBACIÓN DEL INTERIOR DEL CONTENEDOR
- 5 RETIRADA DE LA TAPA DE LA CELDA Y DE LA 2ª TAPA DEL CONTENEDOR
- 6 DESCARGA DEL COMBUSTIBLE GASTADO
- 7 ZONA DE ALMACENAMIENTO EN TRÁNSITO DEL COMBUSTIBLE GASTADO
- 8 CÁPSULA DE ACERO INOXIDABLE
- 9 TRANSFERENCIA DE LA CÁPSULA AL CONTENEDOR DE MANEJO
- 10 TRANSFERENCIA A LOS TUBOS DE ALMACENAMIENTO
- 11 TUBOS DE ALMACENAMIENTO



¿ Quien es más respetuoso con el medio ambiente?

¿El petróleo o la energía nuclear ?

Hemos visto los efectos del Prestige sobre el medio. Tema probabilista.

100 millones tm / año consumo petroleo a España.

Accidentes de mar de 1967 a 2002

- **Torrey Canyon. 1967, Islas Britanicas, vertido: 130.000 tm**
- **Polycomander: 1970, Galicia, vertido: 13.000 tm**
- **Urquiola. 1976, Port La Coruña, : 20.000 tm**
- **Amoco Cádiz 1978, costa de Bretaña, vertido: 234.000 tm**
- **Mar Egeo 1992, port la Coruña, vertido : 71.000 tm**
- **Erika 1999, Finistère frances, vertido : 10.000 tm**
- **Prestige 2002 vertido, 77.000 tm**

Impacto ambiental: Protocolo de Kioto en España.



Segun Price Waterhouse Coopers:

- Exceso de 123 millones tm / año
- Cost e 15 –30 €/ tm ---- 1.800- 3.600 millones € /año
 - 14.400 – 28.800 millones € hasta el 2012
- Este importe equivale a:
 - 2 veces el Fondo de Cohesión de la Unión Europea recibido el 2003.
 - 1.5 el presupuesto del Ministerio de Medio ambiente el 2003
 - 1.5 del total dedicado a I + D en el 2003.
- Las Centrales Nucleares en funcionamiento en España evitan verter
55 millones de tm /año de CO₂

¿no seria conveniente construir nuevas centrales nucleares que evitasen verter 55 millones de tm /año ?

Prof. Ph.D. J. Dies



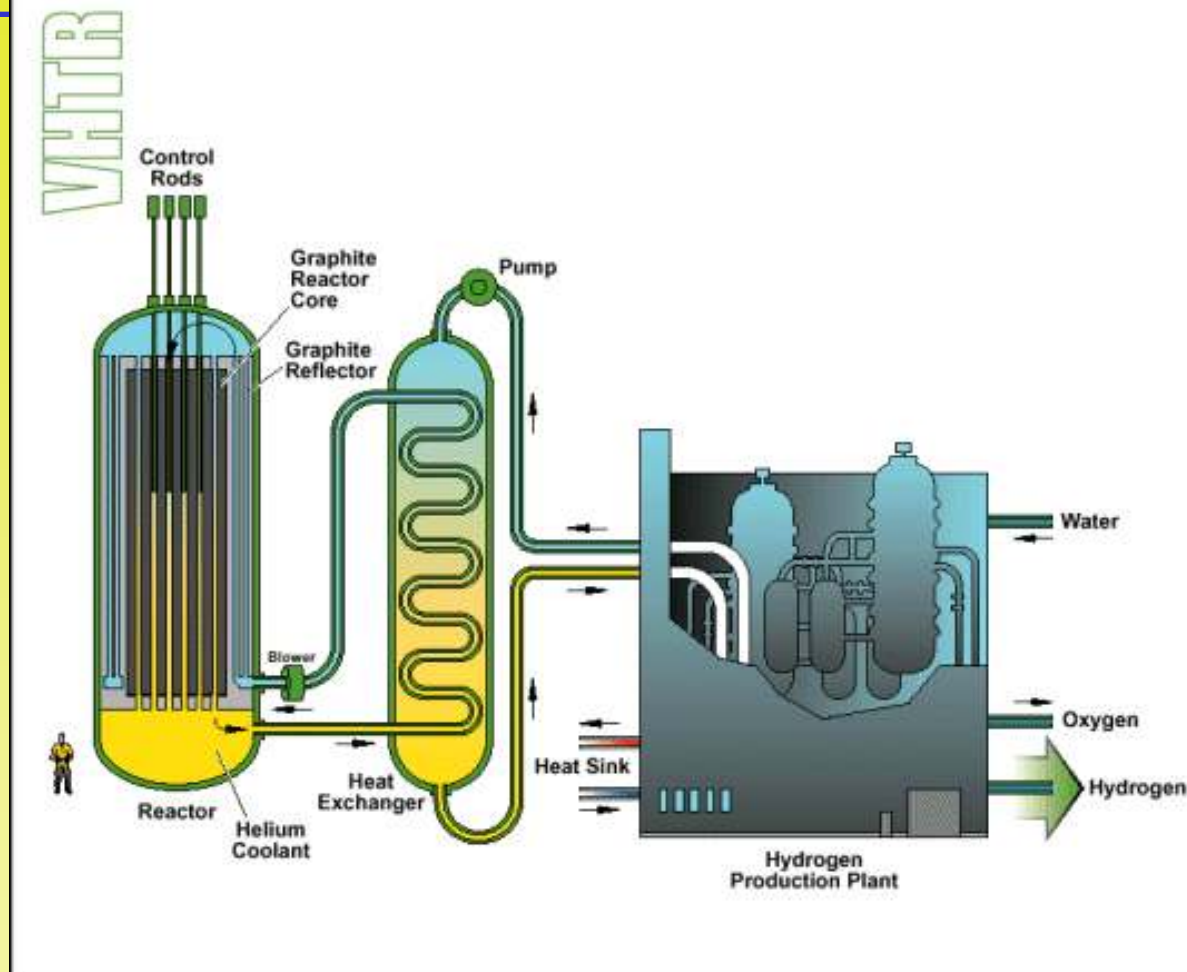
- CENTRAL NUCLEAR: → 1-4 km² de Superficie
- CENTRAL SOLAR: → 20-50 km² de Superficie
- CENTRAL EOLICA:→50-150 km² de Superficie

Aplicaciones futuras de la energía nuclear:



- **PRODUCCIÓN DE ENERGIA ELECTRICA.**
- **PRODUCCIÓN DE HIDROGENO PARA TRANSPORTE.**
- **PRODUCCIÓN DE AGUA DULCE. DESALAR AGUA DEL MAR.**

Very-High-Temperature Reactor



Central Nuclear de IV Generación actualmente en fase investigación y desarrollo. Orientada a producir hidrogeno y electricidad.

Prof. Ph.D. J. Dies



•PRODUCCIÓN DE AGUA DULCE. DESALAR AGUA DEL MAR.

•Experiencia en España:

- Central térmica de Carboneras (carbón) y planta desaladora (osmosis inversa) de 550 MW y 40 Hm³ /año en estos momentos es la más grande de Europa.

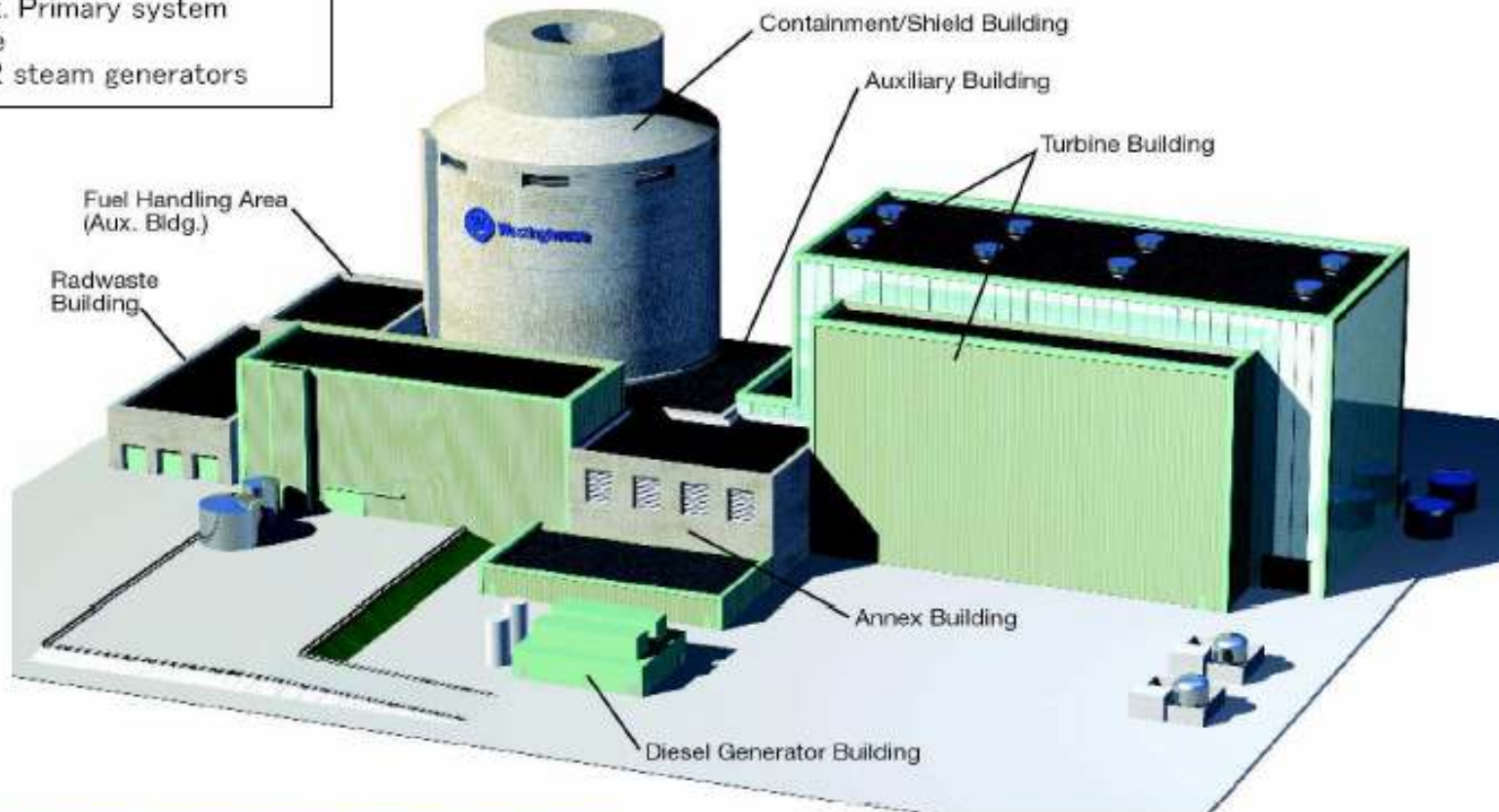
- El transvase 1050 Hm³ /año del río  25 Centrales térmicas

- La opción nuclear podría ser la más respetuosa con el ecosistema y la única posible para cumplir el Protocolo de Kyoto.

The Westinghouse AP1000

A compact station

- 3415 MWt. Primary system
- 1117 MWe
- 2-loops, 2 steam generators



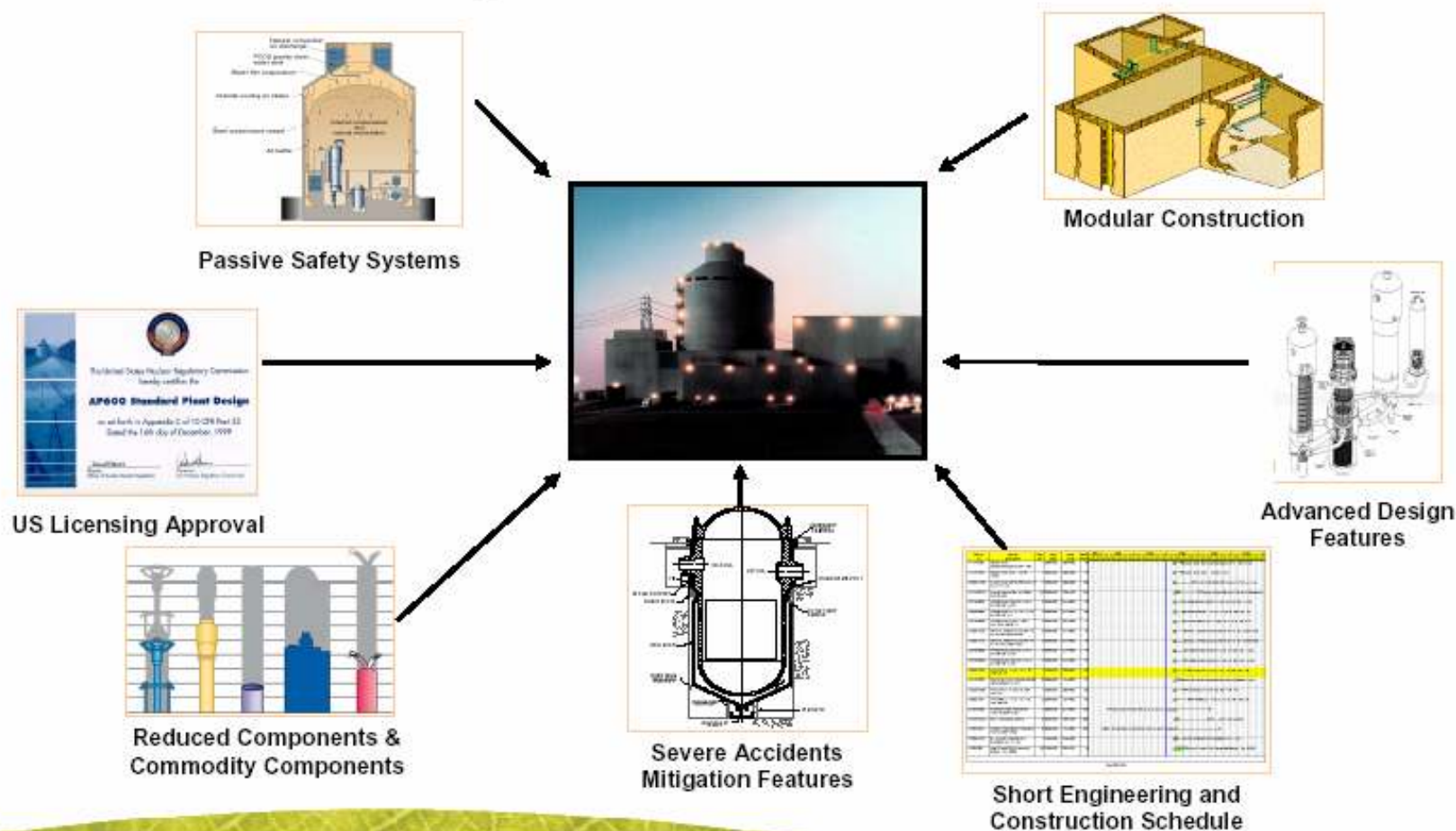
Central Nuclear Generacion III+

AP1000 Features - Differences

- Passive safety features
- Plant simplification
- Modular construction
- Shortened engineering and construction schedule
- The first and only Generation III+ reactor to receive Design Certification from the U.S. NRC

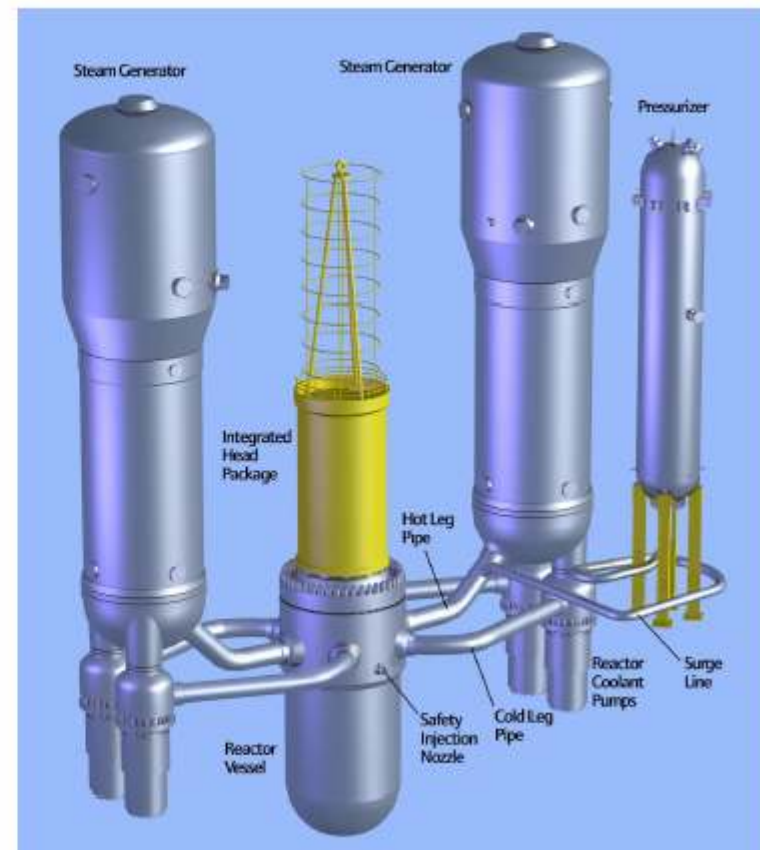


Key Elements Used in Developing the AP1000 Design



Familiar But Improved Reactor Coolant System

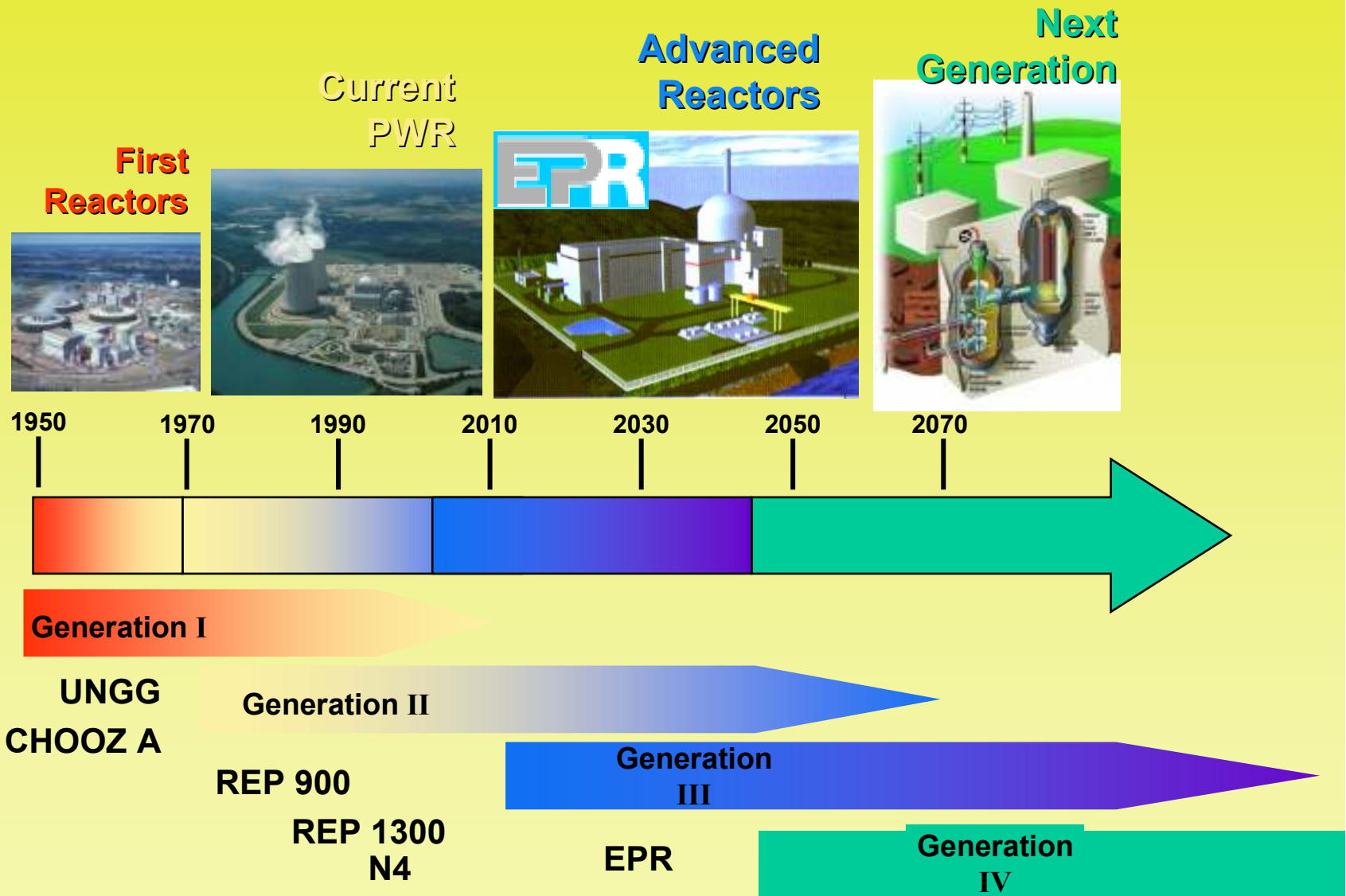
- Canned motor pumps mounted in steam generator lower head
 - Eliminate RCP shaft seals
- Larger pressurizer (2100 ft³) (eliminate PORV)
- Top-mounted, fixed in-core detectors (no BMI's)
- All-welded core shroud (not bolted)
- Ring-forged reactor vessel (no longitudinal welds)



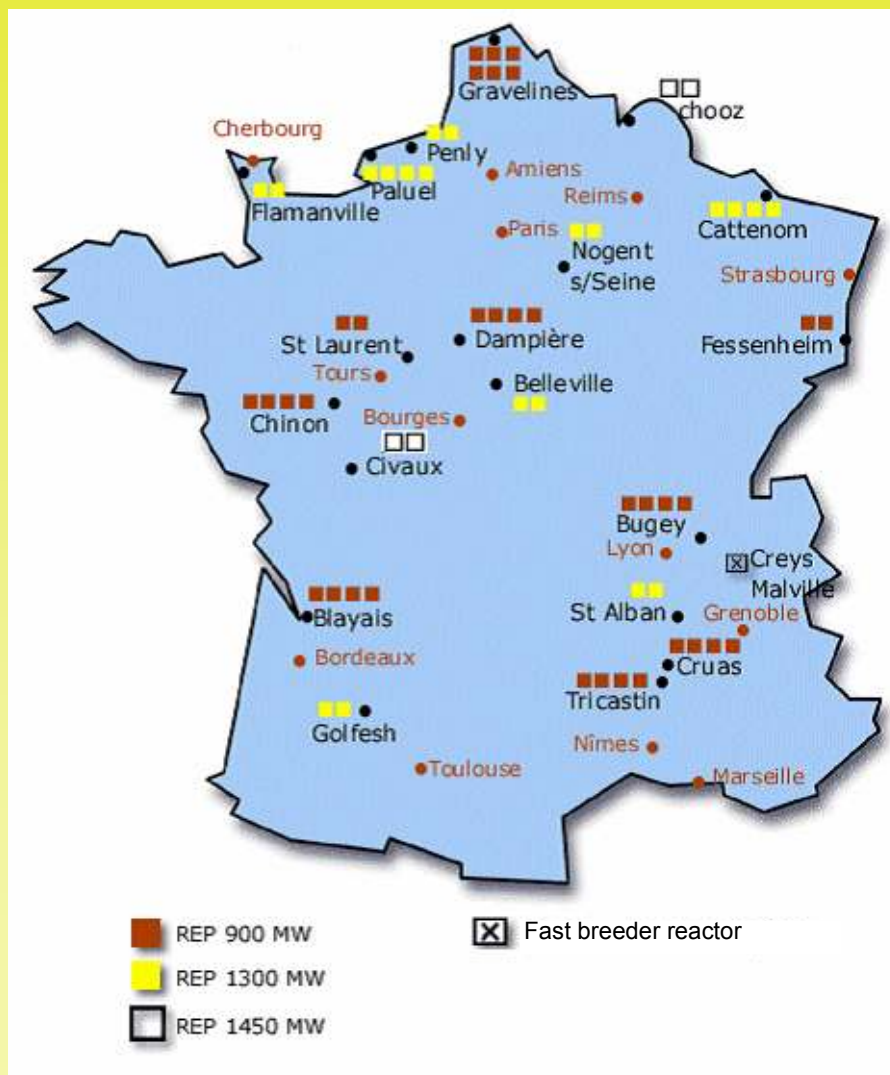
- Els nostres veïns:

–França

The history of the French nuclear program



Historia del programa nuclear Frances



34 reactors 900 MWe

20 reactors 1300 MWe

4 reactors 1450 MWe

Total : 62850 MWe

58 C.N.





Donde hay una central nuclear es un buen emplazamiento para poner otra central nuclear.



Dampierre en Burly (4 x 900MWe) Francia

	Año	Francia	España
Población (habitantes)	2005	63.213.894	44.108.530
Superficie (km ²)		675.417	505.811
PIB (millones \$)	2005	1.811.561	838.672
PIB per càpita (\$)	2005	29.203	24.803
Centrales nucleares (unidades)	2006	58	8
Potència elèctrica nuclear (MWe)	2006	62.850	7.736
Electricidad producida con nucleares (MWh)	2004	427.000.000	61.253.000
Contribución de la energía nuclear en la producción de electricidad. (%)	2004	78	23

Fotomontaje Olkiluoto (Finlandia). Dos centrales en operación junto a la tercera en construcción. EPR-1600 MWe



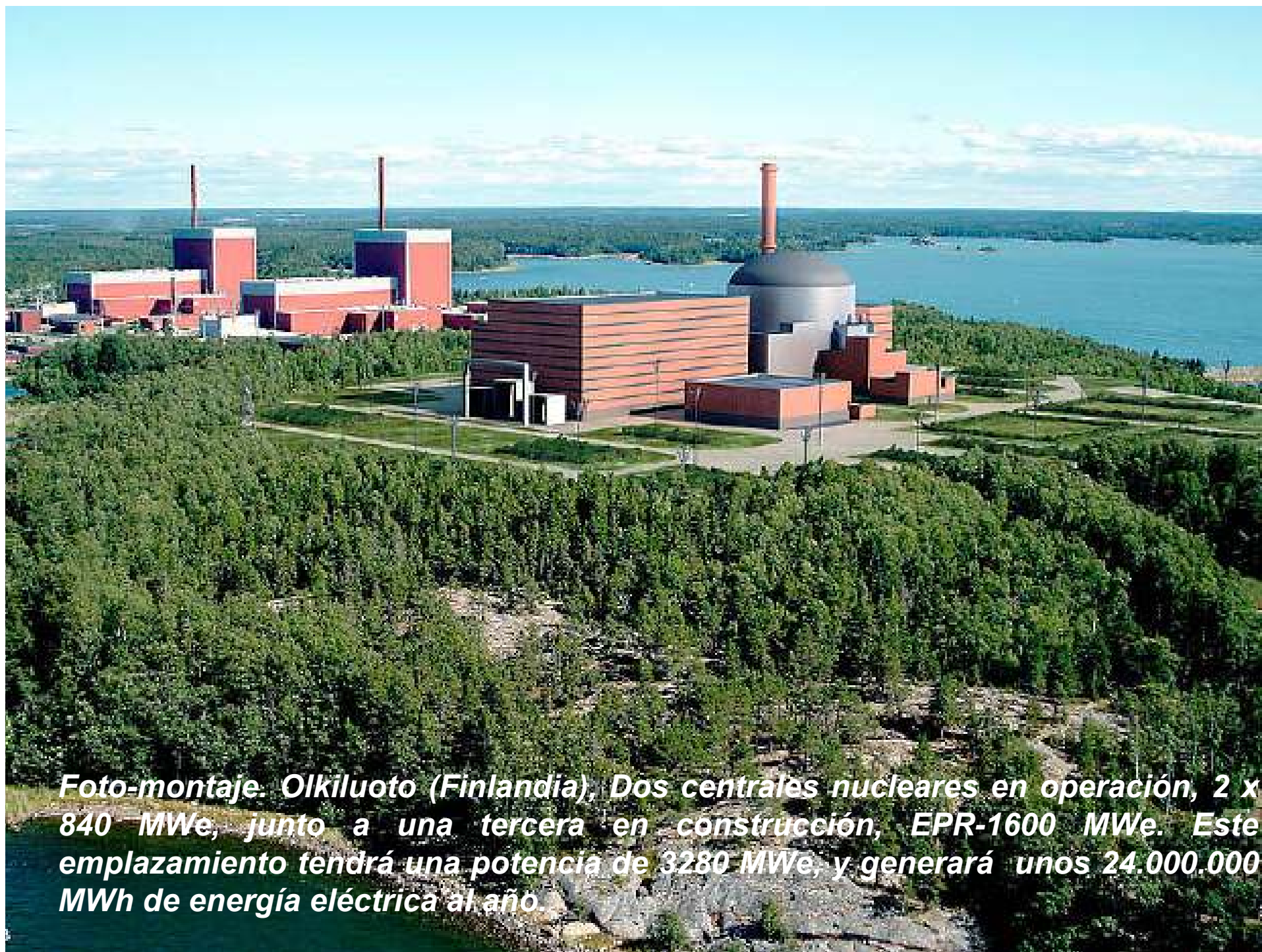


Foto-montaje. Olkiluoto (Finlandia), Dos centrales nucleares en operación, 2 x 840 MWe, junto a una tercera en construcción, EPR-1600 MWe. Este emplazamiento tendrá una potencia de 3280 MWe, y generará unos 24.000.000 MWh de energía eléctrica al año.

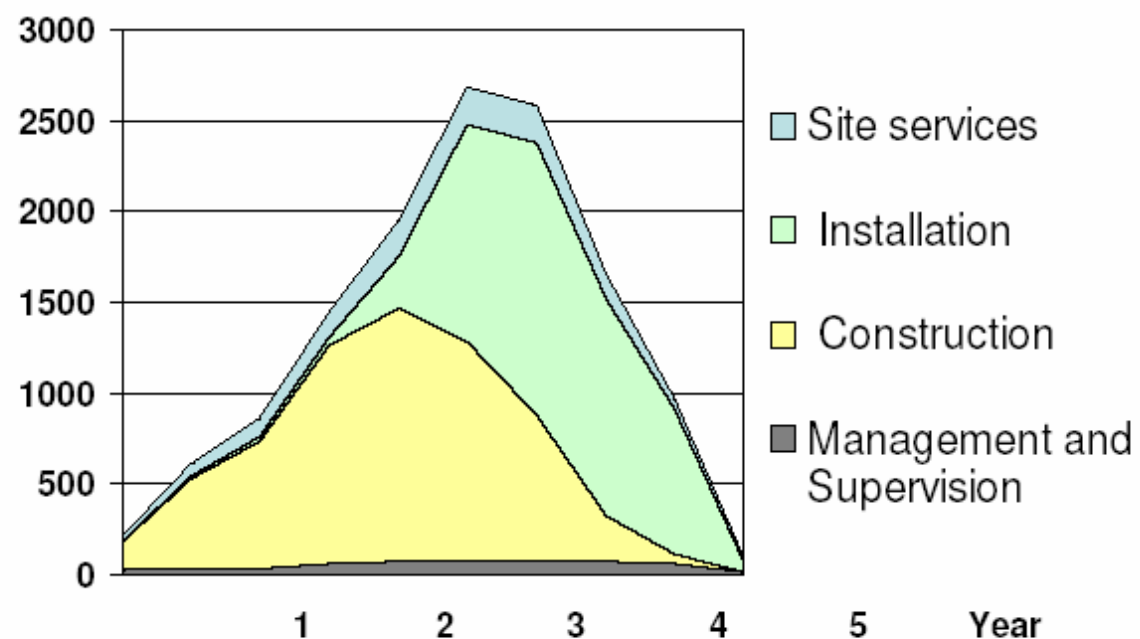
Olkiluoto (Finlandia). Construcción de la tercera central nuclear EPR-1600 MWe.





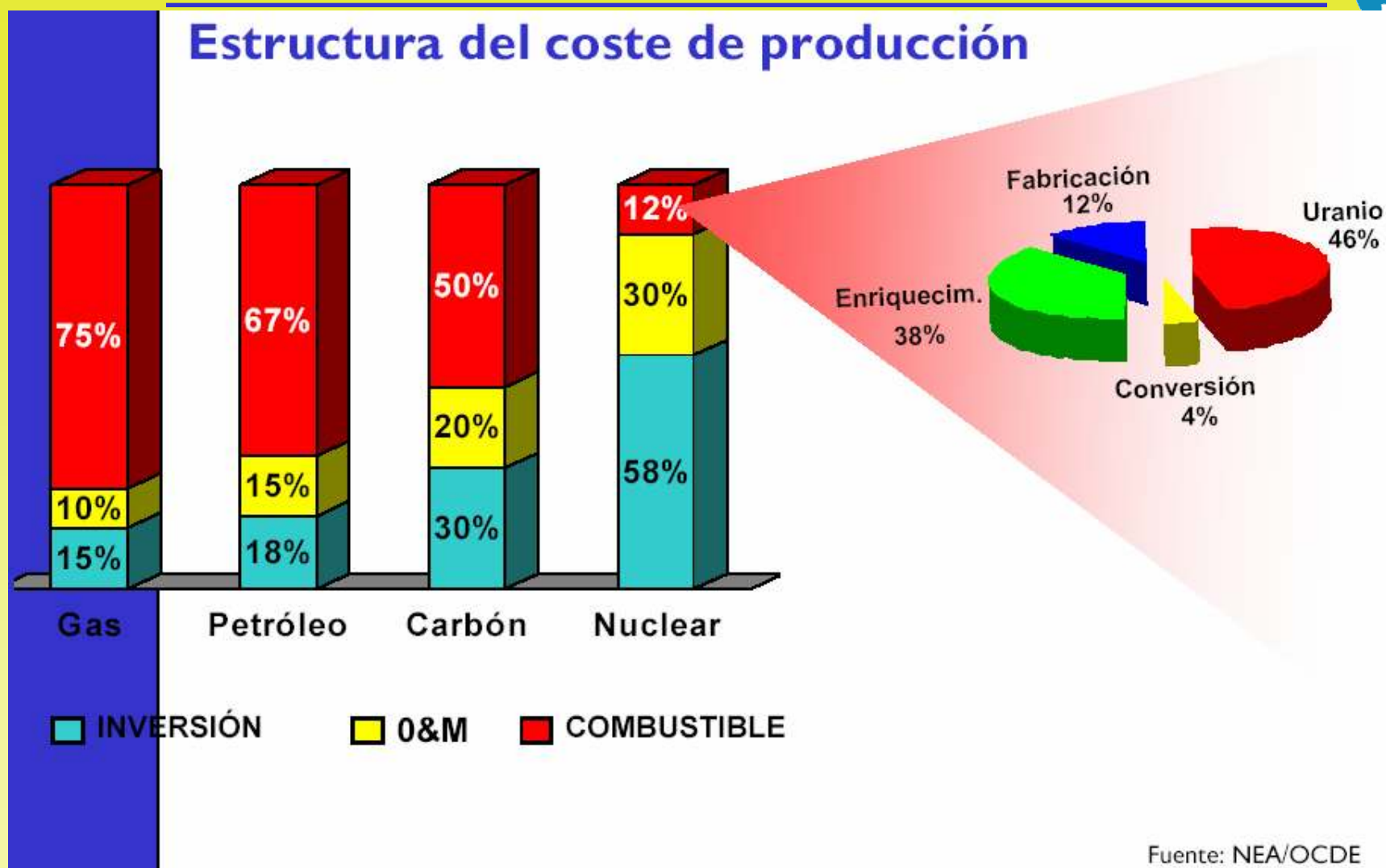
OL3 – Effect on number of jobs

- During construction directly and indirectly 30.000 man-years in Finland
- During operation directly and indirectly about 1000 persons
- Peak work force at Construction Site up to 2.500 persons



www.tv.o.fi

Estructura del coste de producción



Fuente: NEA/OCDE

Coste total de diferentes tecnologías (actualización junio 2006)

	NUCLEAR	CARBÓN	GAS	TURBA	MADERA	EÓLICA
Inversión	14,9	9,3	5,1	10,2	12,0	35,5
O & M	8,0	7,5	4,0	7,0	8,5	10,0
Combustible	3,0	17,6	35,9	18,8	30,8	
Gestión de Residuos	3,0					
SUBTOTAL	28,9	34,4	45,0	36,0	51,3	45,5
Tratamiento emisiones		16,2	7,0	19,1		
TOTAL	28,9	50,6	52,0	55,1	51,3	45,5

Datos en € / MWh – Tipo de interés del 5% - Funcionamiento 8000 h/año (excepto eólica 2200 h/año)

Precio medio del petróleo mayo 2006 69,67 \$/bl - Madera y eólica sin subsidios

Fuente: "Competitiveness Comparison of the electricity Production Alternatives" (actualización junio 2006)

R. Tarjanne y K. Lusostarién – Universidad de Lappeenranta (Finlandia) y elaboración propia

THE IMPACT OF FUEL COSTS ON ELECTRICITY GENERATION COSTS

Finland, 2008

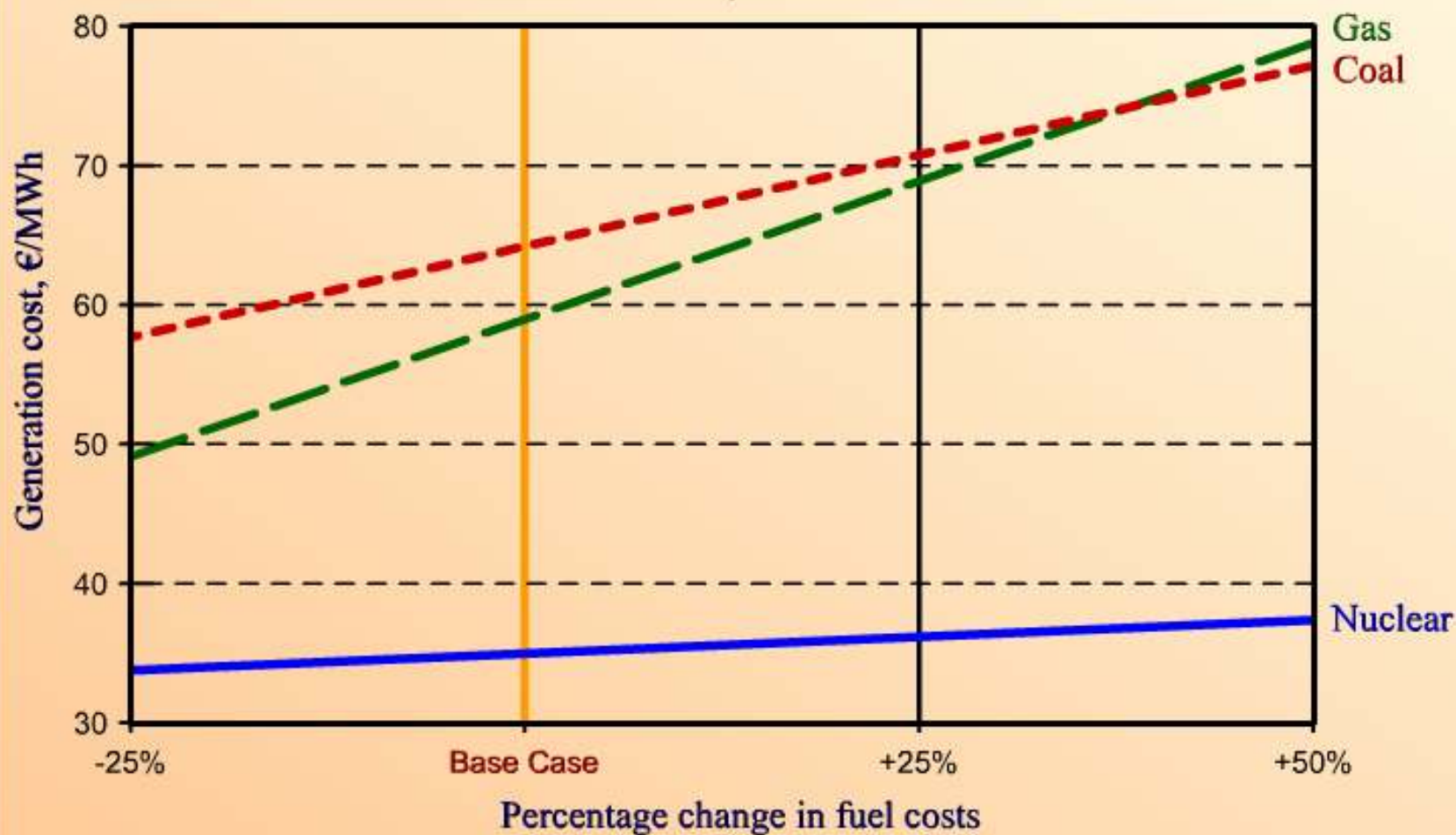


Figura 50 - Impacto del precio del combustible en el coste de generación

Renovación de licencias de C.N.



- Estados Unidos tiene 104 centrales nucleares actualmente licenciadas, es decir en operación.
- De estas, 48 centrales nucleares han obtenido del organismo regulador “US Nuclear Regulatory Commission, US-NRC,” la renovación de la licencia de operación a **60 años**, y 15 están en proceso de revisión por el US-NRC

(Fuente: W. Borchardt, Executive Director of Operations del US Nuclear Regulatory Commission, 23 de Junio, 2008 en el marco del “Nuclear Plant Safety Course” realizado en el Massachusetts Institut of Technology en Boston, USA).

- El US-NRC es el organismo equivalente al Consejo de Seguridad Nuclear en España.

- Crisis Economica i Energia Nuclear:

Escenario de construcción de 15.000 MWe en España



	Gas		Nuclear	
Inversión inicial (M€)	6750		30000	
Participación nacional (M€)	3037-4387		18000-25500	
Ingeniería y servicios (M€)	5%	337	8,5%	2550
Bienes de equipo (M€)	16%	1080	36%	10800
Construcción (M€)	24%	1620	32%	9600
Otros costes (M€)	10%	675	10%	3000
Pagos al sector exterior				
Inversión inicial (M€)	45%	3037	13,5%	4050
Combustible- 7500 h/año (M€/año)	4500		256	
Emisiones de CO₂ (Mt/año)	60		-	

Comparación del impulso a la economía del país, según la utilización de centrales de gas ciclo combinado, o centrales nucleares.



Conclusiones:



1. Renovar la licencia de las centrales españolas a 60 años.
2. Realizar en España un programa de construcción de centrales nucleares de III Generación con una potencia de 10.000 a 15.000 MWe.
3. De entre los municipios que desean el almacén temporal centralizado (ATC), elegir un emplazamiento y proceder a su construcción.
4. Participar en los programa de investigación internacionales de centrales nucleares de VI Generación y de Fusión nuclear.

FIN