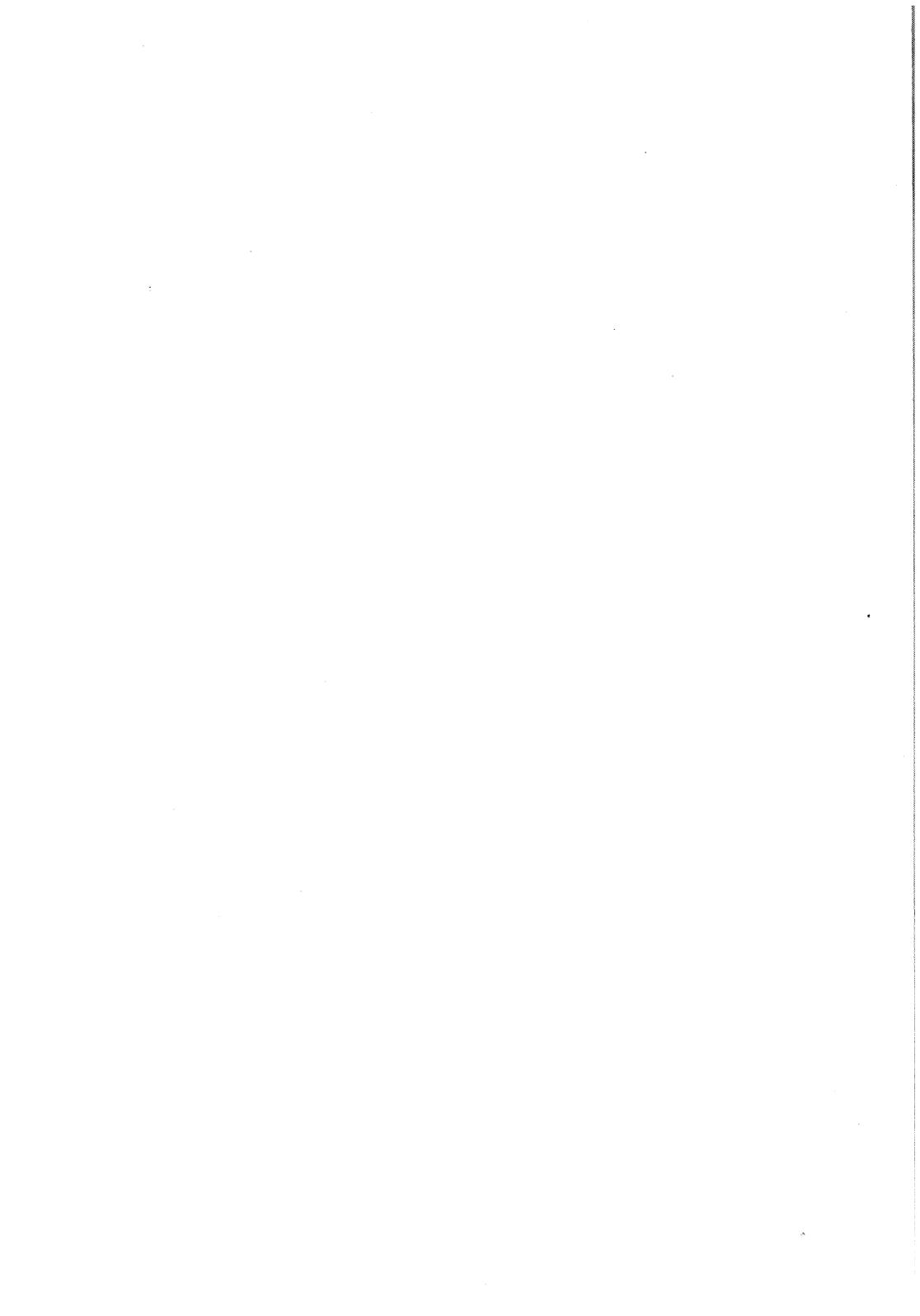


**“La Producción de Energía en el Futuro:
Limitaciones y Desafíos”**

JOSÉ ANTONIO TAGLE GONZÁLEZ

Dirección de Generación de IBERDROLA, S.A.



INTRODUCCIÓN: El problema o debate energético.

En la presente ponencia se analizan las diversas hipótesis y escenarios de producción de energía en el próximo siglo. El análisis de dichos escenarios energéticos se realiza dentro del contexto global del problema de la demanda y suministro energético o *“debate energético” en las próximas décadas*.

En el debate energético no se tiene en cuenta el análisis de las posibilidades científico-técnicas de cada una de las diversas tecnologías energéticas, sino también las diferentes aproximaciones de planificación energética -tanto a nivel regional como mundial- y los desafíos medioambientales, sociales y éticos que se le plantean a dichas tecnologías y planificaciones energéticas.

El desarrollo y la explotación de las diversas tecnologías para la transformación, producción y uso de la energía ha tenido y tiene un impacto decisivo en el desarrollo y calidad de vida de la humanidad (Fig.1). La importancia de éste hecho quedó reconocida explícitamente en el XV Congreso del Consejo Mundial de la Energía -“Energía y Vida”- celebrado en Madrid en Septiembre de 1992, en el cual se afirmaba que *“el suministro y la utilización de la energía tienen que jugar un papel decisivo en la supervivencia de una gran parte de la población de nuestro mundo”*.

Desde ésta perspectiva del papel decisivo que la energía juega en el desarrollo y supervivencia de los pueblos, en la ponencia se hace un análisis de los desafíos y limitaciones de las diversas tecnologías energéticas en uso o en desarrollo futuro y de las diversas metodologías existentes de planificación energética. Al final de la misma, y a modo de conclusión, se exponen algunos criterios básicos que, a título personal, pensamos deberían marcar las estrategias de producción energética en el futuro.

1. SITUACIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL: Oferta y demanda de energía.

Un análisis de los diversos recursos energéticos existentes y de las limitaciones y posibilidades de cada una de las tecnologías energéticas actuales o futuras que puedan ser utilizadas para satisfacer la demanda de energía -tanto actual como futura- debe partir de la aceptación de la situación energética mundial. El XV Congreso del Consejo Mundial de la Energía (Madrid 1992) resumía en tres proposiciones básicas su visión de cual debería ser la estrategia energética en las próximas décadas (1) :

1. La primera prioridad a abordar es el alivio de la pobreza en los países en vías de desarrollo mediante el acceso de éstos países a la utilización de forma masiva de los recursos energéticos existentes.
2. El desarrollo económico, acompañado de un mayor uso de los recursos energéticos, no es incompatible con la protección del medio ambiente en un modelo de desarrollo viable.
3. Hacer frente al reto de la distribución desigual de los recursos energéticos mediante programas de cooperación y solidaridad. Aunque a corto plazo no se prevé una falta de recursos energéticos y en las próximas décadas los combustibles fósiles seguirán siendo la fuente primaria de energía, a largo plazo las tecnologías nucleares avanzadas deberán seguir desarrollándose y ocupar un pocertanje cada vez mayor en la producción energética.

La justificación de las tres proposiciones anteriores se muestra gráficamente en la Fig.2 y las Tablas I y II. Actualmente existe una gran disparidad a nivel mundial en el consumo de energía primaria por persona y año. Casi el 80% del consumo de energía primaria se realiza actualmente por menos del 20% de la población mundial, mientras que los restantes 4.000 millones de personas (80% de la población mundial) apenas alcanzan a consumir el 20% del gasto energético mundial (Fig.2).

En segundo lugar las predicciones de demanda de energía en las próximas décadas muestran que mientras en los países desarrollados dicha demanda crecerá en torno a un 17% en los países en desarrollo dicho incremento superará el 50% (Tabla I). Dicho incremento en el uso de los recursos energéticos influirá de manera decisiva en el medio ambiente y es por tanto necesario plantearse medidas de protección del medio ambiente dentro de un modelo de desarrollo viable.

Finalmente dado que los parámetros de consumo energético tienen un impacto directo en las variables básicas que definen la calidad de vida de las personas (Tabla II), es necesario plantearse el reto de mejorar dicha calidad de vida para la mayor parte de la población mundial mediante programas de redistribución más justa de los recursos energéticos.

2. RECURSOS ENERGÉTICOS: Demanda y reservas energéticas.

La demanda de energía en el futuro estará fuertemente ligada, según lo analizado hasta ahora, al crecimiento demográfico a escala mundial y al nivel de desarrollo que alcancen los países actualmente en fases de desarrollo.

Existen tres hipótesis básicas de crecimiento de la población mundial: crecimiento bajo, medio y alto. En la hipótesis de crecimiento bajo la población mundial alcanzaría un nivel alrededor de los 10.500 millones de personas en el año 2100. La hipótesis de crecimiento alto, basada en un ritmo de crecimiento anual superior al 2% típico de la década de los años sesenta, sitúa la población mundial en unos 19.000 millones de personas en el año 2100. Por último la hipótesis de crecimiento medio -tasa anual del 1,75% típica de los años setenta- estima que la población mundial se saturaría alrededor de los 12.000 millones a finales del próximo siglo (2).

Un segundo factor a considerar es que éste aumento de población ocurrirá principalmente en aquellas regiones con un nivel de desarrollo muy bajo y por tanto con una fuerte demanda energética para su desarrollo. Esta problemática podría aliviarse en principio por el hecho de que, como resultado de los programas de eficiencia y ahorro energético llevados a cabo en las últimas décadas, se ha observado un descenso en la relación entre el consumo de energía y el producto interior bruto en los países industrializados, y en consecuencia ya no existe una correlación exacta entre el crecimiento económico futuro y las proyecciones de demanda de energía exigidas por dicho crecimiento.

No obstante el hecho de que actualmente el 50% de la población mundial (2.500 millones) no tengan acceso a la energía comercial ni a los servicios derivados de la misma y que para el año 2020 el 85% de la población mundial estará localizada en países en desarrollo, hacen prever que para esa fecha la demanda de energía crecerá en un 50% incluso en una hipótesis de crecimiento moderado y el problema energético seguirá siendo crítico. Si actualmente el consumo de energía primaria a nivel mundial es del orden de 10 billones de vatios (10TW) ó de 0.3 Q -en términos de macromagnitudes energéticas 1 Q equivale a 1000 quad (Tabla III)-, éste consumo energético se estima que crecerá hasta unos 2.0 Q/año para una población de 12.000 millones alrededor del año 2100.

¿Existen reservas energéticas para abastecer dicha demanda? En la Tabla IV se presenta la estimación actual de cada una de las reservas energéticas conocidas en función del parámetro energético Q (térmico) o en los casos de conversión directa en energía eléctrica Q (eléctrico). Las diversas unidades utilizadas en las tecnologías energéticas se presentan en la Tabla III (3).

Aunque en el próximo apartado se analizarán en detalle las diversas alternativas energéticas, un primer análisis de la Tabla IV permite extraer la siguiente conclusión: *sobre la base de un consumo energético mundial en el próximo siglo entre 1 y 2 Q(térmicos) actualmente existen reservas energéticas sufi-*

cientes para satisfacer las demandas de consumo energético requeridas por el desarrollo humano digno de la población mundial en el próximo siglo (4).

3. TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS: Posibilidades y limitaciones.

La utilización de los recursos energéticos se realiza mediante la transformación de un tipo de energía en otra por medio de una determinada tecnología energética. Las diversas tecnologías energéticas se suelen clasificar de acuerdo con el recurso energético utilizado como materia prima. Siguiendo la clasificación de los recursos energéticos mostrada en la Tabla IV, a continuación se presenta un análisis del estado actual, las posibilidades y las limitaciones de las diversas tecnologías energéticas existentes, en desarrollo o emergentes.

3.1. Tecnologías energéticas de combustibles fósiles.

A) Problemática actual: gran uso y emisiones nocivas.

El consumo energético del hombre tecnológico actual viene marcado en un 80% por el uso de combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo,...). El uso masivo de dichos combustibles en el desarrollo industrial del último siglo ha estado basado en la relativa facilidad del uso de los mismos, los bajos costes de su explotación y la relativa simplicidad de las tecnologías asociadas a su uso.

La abundancia de dichos combustibles, especialmente del carbón (Tabla IV), garantizaría en principio el suministro energético para varios cientos de años a una tasa de consumo energético de 2 Q(térmicos) anuales. Sin embargo los combustibles fósiles producen durante su proceso de combustión la emisión de gases muy nocivos para el medio ambiente -gases con "efecto invernadero"- , llegándose incluso a extrapolar la posible incidencia de los mismos en un cambio climático global de la Tierra.

De todas las emisiones a la atmósfera debidas a los combustibles fósiles la más alarmante es la emisión de CO₂. Los datos de 1990 muestran que existe un desequilibrio entre las emisiones de CO₂ a la atmósfera (200.000 millones de toneladas de Carbón = 200 GtC) y la absorción del mismo por los sumideros naturales (194 GtC). Actualmente no existe una respuesta científica definitiva acerca de si ese 3% de aportación antropogénica de CO₂ a la atmósfera es suficiente para romper el equilibrio biosférico y causar cambios climáticos significativos en la Tierra (2).

B) Previsiones de crecimiento futuro: control de emisiones.

La cuestión más preocupante que plantea el uso de combustibles fósiles en el sistema energético está relacionada con las previsiones de crecimiento futuro de la demanda energética. Desde una visión global el mundo debe prepararse ante la posibilidad de una demanda de consumo energético muy superior a la actual, la cual crecerá -incluso en el escenario de crecimiento de energía más bajo- al menos en un 30% hacia el año 2020 (2).

En éste contexto de un aumento futuro de la demanda hay que afrontar los siguientes hechos: los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) seguirán siendo la base del suministro energético durante muchas décadas y su demanda crecerá debido a las grandes reservas existentes de los mismos (i.e. carbón); los países con mayores necesidades energéticas (i.e. China e India) tienen a su vez inmensas reservas de carbón y por tanto una fuerte presión local para su explotación; la irregular distribución de las reservas de combustibles fósiles (i.e. el 67% del petróleo en Oriente Medio, el 43% de gas natural en Europa Central y Federación Estados Independientes) hace que exista una continua preocupación sobre la estabilidad de los precios y la oferta; el bajo precio del petróleo retrasa el desarrollo e implantación de otras energías sustitutivas y finalmente hay quienes opinan que la adaptación al cambio climático durante las próximas décadas puede no ser deseable o realizable a coste razonable y será por tanto inevitable (2).

Desde las hipótesis y hechos anteriores actualmente se estima que las emisiones de CO₂ pueden llegar en el año 2010 a triplicarse -en relación a los valores de 1990- en los países de la OCDE, aumentar en un factor 2,5 en China y duplicarse en el resto de los países, pasando a un total de 319 GtC y aumentando así el desequilibrio antropogénico antes citado en dichas emisiones y acelerando el posible cambio climático.

La utilización de tecnologías avanzadas para combustibles fósiles en los países industrializados (OCDE) y de la antigua Unión Soviética y Europa del Este, podría hacer disminuir la contribución de emisiones de CO₂ a las emisiones totales desde un 48,2% a un 41,9% y desde un 22,0% hasta un 14,3% respectivamente. No obstante en los países en vías de desarrollo estas emisiones se incrementarían desde un 29,8% a un 43,7% (5).

C) Situación deseable: tecnologías avanzadas y limpias del carbón.

Los efectos anteriores han obligado a reflexionar sobre el futuro del uso masivo de los combustibles fósiles en el consumo energético. En 1992 la Unión Europea y otros 154 países firmaron el Documento Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (6), el cual recoge con detalle los requisitos básicos

necesarios para estabilizar las emisiones de gases responsables del efecto invernadero en las próximas décadas. Sin embargo, al menos para el caso del CO_2 , no se prevé que sea posible, sobre todo desde el punto de vista político, estabilizar dichas emisiones en la atmósfera de forma realista antes del año 2070 incluso en el escenario de crecimiento de energía mas bajo.

Posiblemente sea la promoción y difusión de nuevas tecnologías la forma mas adecuada de aminorar el efecto invernadero causado por las emisiones de CO_2 y otros gases procedentes de la utilización de combustibles fósiles, y la medida cautelar disponible mas favorable de protección del medio ambiente.

Tecnológicamente existe un gran número de procesos que potencian la capacidad generadora del carbón, ya sea por su mejor aprovechamiento o por la posibilidad de usar carbones ciertamente mas pobres o con un mayor número de impurezas (i.e. sistemas de lecho fluido atmosférico o presurizado). Es posible obtener sistemas de desulfuración y mejora en la eliminación de SO_2 y NO_x a costes de inversión y operación inferiores en un 10% a los sistemas clásicos. Finalmente existen procesos de desarrollo de ciclos termodinámicos combinados a gas, de gasificación del carbón, síntesis e hidrogenación, etc... y otras tecnologías nuevas relacionadas con los otros combustibles fósiles (gasificación de productos pesados de refinería, combustión en caldera de gas natural, calderas de policombustibles,...).

Todas estas tecnologías -desarrolladas o en fase de desarrollo- han reducido de forma notoria el contenido de plomo en la atmósfera de las ciudades, el polvo o partículas procedentes de la combustión del carbón, las emisiones de dióxido de azufre en la combustión de petróleo o carbón en centrales térmicas, las emisiones de azufre, etc.. en un 30% mediante el lavado previo de carbones. Existen también ya algunas técnicas para llegar a una reducción del 90% y algunos métodos, aunque muy costosos, de desulfurización del carbón hasta un 90%.

Sin embargo los logros alcanzados en relación con el medio ambiente han tenido lugar principalmente en el mundo desarrollado, en el cual existen tecnologías para limitar las emisiones producidas en la generación y uso de la energía mediante combustibles fósiles. En consecuencia, y como veremos mas adelante, todos estos logros no podrán ser aplicados en los países en desarrollo sin un cambio estructural en las políticas energéticas que conlleven unos grandes programas de transferencia de tecnología y cooperación internacional.

3.2. Tecnologías de energías renovables.

Los problemas mencionados con los combustibles fósiles obligan a tomar, si en un futuro se quiere reducir de manera significativa la dependencia de

combustibles fósiles, dos acciones importantes : relanzamiento a corto plazo de la energía nuclear e impulsar a gran escala el desarrollo de las energías renovables. Ambas acciones al tiempo e impulsadas por las fuerzas del mercado (2).

Las reservas energéticas provenientes de las energías renovables -unos 2.6 Q (térmicos) al año -podrían en principio cubrir la demanda energética del próximo siglo a un gasto energético anual entre 1 y 2 Q(térmicos) (Tabla IV) y además contribuir a una mejora sustancial de los problemas medioambientales. Las principales características de las energías renovables y su estado actual de desarrollo se presentan en la Tabla V (7). Entre las energías renovables se suele distinguir la Biomasa e Hidráulica tradicionales de las denominadas "Nuevas Energías renovables" que incluyen Biomasa moderna, Mareomotriz, Oceanotérmica, Eólica, Solar, Geotérmica y Minihidráulica.

En 1990 la contribución de las energías renovables al consumo anual de energía era muy modesta llegando sólo al 18%, del cual más del 98% correspondía a la Biomasa tradicional (leña, residuos agrícolas, estiércol) con un 64% y a la Hidráulica -especialmente las grandes centrales hidroeléctricas- con un 34%. La contribución del resto de las energías renovables era muy poca : 0,8% solar; 0,8% geotérmica; 0,1% eólica. Incluso la biomasa moderna no llegaba al 8% de las energías renovables (2).

De acuerdo con los estudios realizados recientemente por el Consejo Mundial de la Energía, las energías renovables podrían cubrir en el año 2025 el 25% de la energía de utilización directa y el 60% de la energía eléctrica generada. Sin embargo el desarrollo de tales energías tiene que enfrentarse a serios problemas técnicos y económicos, aparte de problemas de políticas económicas e institucionales tanto a nivel regional como internacional y problemas de fuerte cooperación internacional.

El problema técnico mas importante de éste tipo de energías es su baja intensidad (kW/m^2), su bajo factor de capacidad (24%) y disponibilidad/carga (35%) y en algunos casos su no despreciable impacto medioambiental (Tabla V). No obstante en los últimos años se han producido grandes avances tecnológicos en el desarrollo de dicho tipo de energías: células cristalinas fotovoltaicas con eficiencias del 14-16% en los módulos comerciales y del 22-24% en los de laboratorio; turbinas eólicas de potencia entre 250-300 kW en los parques eólicos y de hasta 1 MW y 1,5 MW a nivel precomercial o de experimentación; turbinas eólicas con un 95% de nivel de disponibilidad, vidas medias de 20 años y factor de carga típicamente del 35%; energía solar térmica mediante Colectores Cilíndrico Parabólicos disponible a nivel comercial a medio plazo (existen 350 MW de potencia instalada en Estados Unidos); energía solar térmica mediante Receptor Central con varios sistemas en el rango de los 500 kW y 10 MW, etc. (7).

Aunque la mayoría de las energías renovables están todavía en una fase muy inicial de su desarrollo comercial, una excepción es la energía Hidráulica (Minicentrales) que aunque actualmente sólo represente un porcentaje pequeño del total de la potencia hidráulica instalada (i.e. 3% en la Unión Europea) es tecnológicamente la más probada y debido a su sencillez, su valor estratégico y su alto nivel de automatización está presente en todos los planes energéticos de los países que tienen posibilidad de implementarla.

Pero quizás el problema más importante con el que tiene que enfrentarse el desarrollo de las energías renovables, aparte de los técnicos ya mencionados, es el de las altas inversiones que requiere su desarrollo. En la Tabla VI se muestran las estimaciones realizadas por el Consejo Mundial de la Energía sobre las inversiones que habrían de destinarse a las nuevas energías renovables hasta el año 2020 de acuerdo con un modelo de evolución sostenible de su desarrollo o de un desarrollo acelerado mediante políticas de apoyo de los gobiernos. Mientras que en el primer supuesto las inversiones serían de unos 115 billones de pesetas en el caso de desarrollo acelerado ésta cifra superaría los 315 billones de pesetas (2).

Finalmente el problema no estaría tanto en las inversiones requeridas sino en la rentabilidad de las mismas. Mientras las inversiones en petróleo y gas se consideran generalmente rentables, las inversiones en nuevas energías renovables de momento no están consideradas como tales y, a menos que dichas energías se pongan como prioritarias en los planes de desarrollo energético, en un futuro sólo podrán esperarse pequeños avances en el desarrollo de las mismas.

Las nuevas energías renovables necesitarán de apoyos gubernamentales para su desarrollo mediante la dedicación de abundantes recursos para su Investigación y Desarrollo (I+D). Lo cual para muchos expertos implicaría un incremento de los precios al consumidor para generar dichos recursos de I+D.

3.3. Tecnologías energéticas nucleares.

Los procesos de liberación de la energía almacenada en los núcleos de los átomos que componen la materia constituyen la mayor reserva energética en el universo (Tabla IV). Los procesos de fisión (división) y fusión (unión) de dichos núcleos constituyen los procesos vivos y dinámicos de liberación y transformación energética cotidianos en el universo: ciclos de quemado de hidrógeno, helio, carbono y oxígeno en el interior de las estrellas; nucleosíntesis de los elementos ligeros; explosiones de estrellas supernovas y formación de elementos pesados; estrellas de neutrones; etc.

La realidad sin embargo es bien distinta. Desde hace casi 53 años -con el control por primera vez de reacciones de fisión nuclear- se han venido construyendo reactores nucleares de fisión para la producción de energía eléctrica. Dicha fuente de energía sin embargo se enfrenta actualmente a una fuerte contestación y rechazo social que ha llevado a una casi paralización de su desarrollo en muchos de los países industrializados. Por otro lado el control de las reacciones de fusión todavía está a nivel de laboratorio y se espera que dicha fuente de energía no esté disponible a nivel comercial hasta dentro de 30 años (en el caso más favorable de potenciar su desarrollo).

A) Centrales nucleares de fisión avanzadas.

Actualmente existen en el mundo 432 reactores nucleares con una potencia total de 340,347 GWe y 48 reactores en construcción con una potencia adicional de 38,876 GWe para el año 2000 (8). La contribución de la energía nuclear de fisión al consumo total anual de energía es sólo del 4%. Dicha contribución se espera que aumente de forma modesta pero constante en las próximas décadas situándose en el año 2020 en un 5,8% (368,671 GWe) en la hipótesis de crecimiento mas baja o en un 6,25% (515,539 GWe) en la hipótesis de crecimiento mas favorable tal como se muestra en la Fig.3.

Las reservas de minerales de Uranio utilizados en los actuales reactores nucleares térmicos (ver Tabla IV) se agotarían en varias décadas si el incremento de la producción de energía nuclear se hubiese quintuplicado, tal y como se pensaba antes de los accidentes nucleares de Three Mile Island TMI II en 1979 y de Chernobyl en 1986. Estos cálculos se basan fundamentalmente en el tipo actual de reactores, el ciclo de combustible nuclear actual -abierto y poco eficaz- y la utilización de las reservas recuperables de uranio a un coste inferior de 80\$ USA/kg.

Sin embargo la energía nuclear tiene un inmenso potencial de desarrollo, como también se muestra en la Tabla IV, si se consideran las opciones de desarrollar los reactores reproductores rápidos, el reprocesamiento del combustible en ciclo cerrado y la explotación de otras reservas de Uranio a precios superiores a los 130 \$USA/kg. Las reservas energéticas nucleares representan casi el doble de las reservas últimas estimadas de combustibles fósiles.

La situación real de la fisión nuclear como fuente de energía depende sin embargo fuertemente de otra serie de factores -algunos de los cuales se analizan a continuación- como son el desarrollo de nuevas tecnologías nucleares, su coste de explotación, su reglamentación y marco político, su utilización en países en desarrollo y sobre todo la aceptación por parte de la opinión pública de los riesgos operacionales y los peligros de los residuos que genera.

Reactores nucleares avanzados:

Los problemas ambientales y estratégicos de las otras fuentes de energía ya mencionadas, en particular de los combustibles fósiles, y el convencimiento de que la alternativa nuclear tiene que ocupar un lugar importante en la producción de energía eléctrica, han hecho que los países más desarrollados hayan lanzado programas de desarrollo de nuevos conceptos de reactores avanzados para las centrales nucleares del futuro. El objetivo de dichos reactores no sólo es la mejora de la seguridad sino también del comportamiento económico del reactor.

Desde el aspecto de la seguridad se encuentran los denominados “**Reactores de Seguridad Pasiva**”. Dichos reactores se caracterizan por usar elementos de seguridad pasiva, es decir, sin necesidad de la intervención humana o elemento activo, para la prevención y mitigación de los accidentes, durante un tiempo suficientemente largo tras un suceso iniciador. Están basados en las leyes naturales que determinísticamente no pueden fallar, como la gravedad, la convección, la difusión, etc. En todos ellos se busca la autorregulación de la planta y la simplicidad del diseño, con una característica común importante que es el menor tamaño del reactor. Un esquema de dichos reactores y los principios de funcionamiento se describen en las Figs.4 y 5 (9).

Los reactores pasivos que se están desarrollando son de tres tipos: reactores pasivos de agua ligera (tanto de agua a presión como de agua en ebullición); reactores modulares de alta temperatura (MHTGR) y los reactores modulares refrigerados por metal líquido (LMR). El primer tipo presenta importantes ventajas por el reducido tiempo de construcción (gran uso de componentes prefabricadas) y promete una estabilidad sin intervención humana durante una semana. Los reactores tipo MHTGR, con una potencia del orden de los 150 MWe, están basados en el mantenimiento de la integridad del combustible -muy robusto a altas temperaturas- en situaciones de pérdida de refrigeración, para lo cual utilizan la convección natural del aire atmosférico o transfieren el calor radiactivo desde el reactor a sus zonas circundantes. Por último los reactores tipo LMR se basan en la altamente fiable convección natural del refrigerante del reactor a un sumidero con objeto de enfriar el combustible y su potencia también es del orden de los 150 MWe.

La mayoría de los países orientan sin embargo sus programas hacia diseños de reactores que conlleven además un funcionamiento más económico. Dentro de éste tipo de reactores estas los denominados “**Evolutivos de Agua Ligera**” (ALWR) los cuales son reactores de gran potencia que, aprovechando la experiencia obtenida en la operación a lo largo de los años de los reactores actua-

les de agua ligera, mejoran su seguridad y funcionamiento y son por tanto una evolución avanzada de los actuales con una mejora sustancial de la disponibilidad de la planta y una reducción del periodo de construcción. También dentro de éste grupo están los reactores rápidos-reproductores y los refrigerados por agua pesada (CANDU evolutivo).

En la Tabla VII se presentan las características de los tipos de centrales avanzadas actualmente en fase de desarrollo. En España existe un Programa de Centrales Avanzadas cuyos objetivos básicos se centran en: preparar futuras soluciones en el campo nuclear con vistas a la próxima generación de centrales nucleares; contribuir durante los próximos años al mantenimiento de la tecnología nuclear y de la capacidad adquirida en España y ampliar los conocimientos científicos y tecnológicos de las tecnologías a largo plazo. Todos estos objetivos están integrados en un plan de seguimiento y participación en los programas internacionales de centrales avanzadas (10).

Calidad de explotación y Cultura de Seguridad:

El futuro desarrollo de la energía nuclear de fisión está afectado por un conjunto de problemas de los cuales sólo nos referiremos a dos de ellos por la importancia que actualmente tienen a la hora de responder a la pregunta sobre dicho futuro, que son la calidad de la explotación y la cultura de seguridad. Aunque la energía nuclear de fisión en el futuro es una tecnología viable -mediante los nuevos desarrollos de reactores avanzados, nuevos métodos de tratamiento de residuos y desmantelamientos, etc.-, sin embargo la pregunta es ¿puede realmente la energía nuclear ser competitiva económicamente en el futuro frente a otras fuentes alternativas de generación eléctrica?.

A partir del accidente de TMI II en 1979, los requisitos impuestos por los organismos reguladores a la industria nuclear crecieron espectacularmente y los costes de su implementación en las centrales en relación con los relativos a los de operación y mantenimiento llegaron incluso a duplicarse (i.e. de unos 45 \$/kW a 85-90 \$/kW en Estados Unidos). Este hecho hizo que los costes de producción eléctrica nuclear aumentasen casi en un 50% en la década 1978-1988, mientras que los de otras tecnologías energéticas han ido progresivamente reduciéndose (Fig.6) (11).

Los análisis realizados después del accidente de TMI II pusieron de manifiesto que en la denominada Calidad Operacional de una central nuclear había algo más que calidad de diseño, fabricación, montaje, pruebas, explotación, etc. y que los factores humanos y los aspectos Organizativos y de Gestión eran puntos básicos para la disminución del Riesgo de Fallos y de la Mejora de dicha

Calidad Operacional. El accidente de Chernobyl en 1986 supuso un reforzamiento de tales descubrimientos anteriores y de las acciones que se estaban tomando ya en la mejora de dichos aspectos.

Es a partir del accidente de Chernobyl cuando la Seguridad se concibe definitivamente como un atributo más de una Explotación correcta y pasa a estar indisolublemente ligada a la Calidad de la Organización y de Gestión. El Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear de la OIEA formula por primera vez en 1986 el término "Cultura de Seguridad" y empieza a emitir unos informes - conocidos como INSAG-01,-02. -03,...- en los que define los Principios básicos de Seguridad para Centrales Nucleares, desarrollando criterios y métodos sobre la Cultura de Seguridad (12).

Los hechos anteriores hacen que en la última década se hayan impulsado estudios detallados acerca de los indicadores de seguridad, las prácticas organizativas y operacionales, los costes, etc. de un gran número de centrales nucleares en el mundo, especialmente en Estados Unidos a través del Instituto para las Operaciones Nucleares (INPO). Un resultado importante de dichos estudios es que Eficacia-Seguridad-Economía no son aspectos antagónicos, sino producto o atributos de una misma categoría: la calidad organizativa, que es la causa raíz o la clave de los buenos resultados en todos los órdenes (13).

Con la rotura pues del esquema clásico -una mayor seguridad implica necesariamente un mayor coste de explotación- el futuro de la energía nuclear de fisión pasará por el grado en que la industria nuclear tome la iniciativa de una reducción de costes de generación nuclear asegurando al mismo tiempo los mas altos niveles de seguridad. Tal iniciativa cuenta con el gran desafío de una gran investigación y transferencia tecnológica en el campo nuclear, dado que si bien en el pasado la energía nuclear era solamente utilizada en los países desarrollados en un futuro será en los países en desarrollo -con poca experiencia en el uso de tecnologías avanzadas- donde se producirá una implantación mayor de la misma.

Es pues en definitiva la iniciativa de reducción de costes y aumento de la seguridad la que podría permitir en las próximas décadas la incorporación al mercado de las centrales nucleares avanzadas, éstas a su vez una reducción progresiva de los costes de generación nuclear y en último término mantener la tecnología nuclear de fisión económicamente competitiva frente a otras alternativas energéticas.

B) Reactores de fusión.

La otra gran fuente de energía nuclear es la proveniente de la fusión de los núcleos de átomos ligeros, principalmente el Hidrógeno y sus isótopos Deuterio y Tritio. Este proceso es el origen de la radiación de las estrellas y el sol,

así como de la explosión de una bomba de hidrógeno (en la cual la energía se libera de manera incontrolada). Un reactor de fusión ofrece en principio las ventajas de unas condiciones de máxima seguridad, mínimo impacto sobre el medio ambiente y una posible competitividad económica. En consecuencia en los últimos cincuenta años se ha realizado un esfuerzo gigantesco de investigación en orden a obtener energía de fusión de forma controlada y poder utilizarla para la producción de electricidad.

En un reactor de fusión el combustible básico (deuterio) se extrae del agua y por tanto su abundancia está garantizada para millones de años; el coste del combustible es por tanto muy reducido y aunque el coste de capital de un reactor de fusión previsto sea muy grande, los últimos estudios realizados concluyen que la fusión puede llegar a ser una energía económicamente competitiva (14). Por otra parte en las reacciones de fusión no se producen gases nocivos y aunque los materiales del reactor queden activados radiactivamente debido al alto flujo de neutrones, una elección apropiada de los mismos puede evitar la producción de residuos radiactivos de larga vida. La fusión es por tanto casi un millón de veces más limpia que las otras fuentes de energía. Finalmente un reactor de fusión opera con baja acumulación de combustible y máxima reactividad, su seguridad está basada por tanto en las propiedades mismas de la reacción y por tanto cualquier mal funcionamiento apaga dicha reacción y el reactor es intrínsecamente seguro frente a accidentes graves (15).

Sin embargo las condiciones para conseguir reacciones de fusión de manera controlada son muy difíciles. En primer lugar la fusión de dos núcleos atómicos requiere que éstos se aproximen a sus distancias nucleares con suficiente energía cinética para vencer las fuerzas de repulsión coulombianas derivadas de poseer la misma carga eléctrica, es decir hay que calentar el combustible (en estado de plasma) a altas temperaturas ($10 \text{ KeV} = 100 \text{ millones de } ^\circ\text{C}$). En segundo lugar dicho plasma ha de mantenerse caliente el tiempo mínimo suficiente para superar las pérdidas de energía y poder alcanzar condiciones estables de calentamiento o encendido. Por último el plasma debe tener a su vez una densidad mínima de partículas para que se produzca un número suficiente de reacciones de fusión y una liberación de importantes cantidades de energía (15).

Aunque existen diversos métodos para confinar un plasma en las condiciones requeridas por la fusión son dos los más importantes: confinamiento por medio de campos magnéticos en una cámara de vacío de geometría toroidal y confinamiento inercial basado en comprimir el plasma a alta densidad y calentarlo mediante la energía suministrada por láseres de potencia ó aceleradores de iones. Actualmente el confinamiento magnético es el que ha producido los avan-

ces mas notables en el control de las reacciones de fusión en un dispositivo denominado Tokamak tal como se muestra en la Fig.7 (16).

En la línea del confinamiento magnético se han dado en los tres últimos años tres avances muy importantes en el desarrollo científico y tecnológico de la fusión nuclear como fuente alternativa de energía eléctrica. El 9 de Noviembre de 1991 en el Tokamak JET de la UE (Culham, Inglaterra) se produjeron por primera vez de forma controlada 2 MW de potencia de fusión en plasmas de Deuterio con un 11% de Tritio. En Julio de 1992 se iniciaron las actividades de diseño de ingeniería del Tokamak Internacional ITER y finalmente en Marzo de 1995 se han llegado a producir potencias de fusión de hasta 10.7 MW durante 0.3s en el Tokamak TFTR de la (Universidad de Princeton, Estados Unidos) (16-17).

Los resultados anteriores junto al Diseño Provisional Intermedio en Mayo de 1995 del Tokamak Internacional ITER -cuyo objetivo principal es producir de manera controlada potencias de fusión hasta 1500 MW en plasmas termonucleares de unos 30m de duración-, han hecho que las investigaciones en fusión termonuclear controlada por confinamiento magnético hayan entrado en la fase de demostrar la factibilidad tecnológica de la fusión como fuente de energía.

El gasto actual anual en fusión a nivel mundial supera los 1.000 MECUs (unos 160.000 MPTas) repartido fundamentalmente entre cuatro grandes programas de fusión equivalentes en financiación y objetivos llevados a cabo por la UE (mas Suiza y Suecia), Japón, EE UU y la FR. Dichos programas están fuertemente conectados entre sí mediante acuerdos internacionales bilaterales y multinacionales. No obstante las actividades actuales de Investigación y Desarrollo en el campo de la fusión por confinamiento magnético requieren una involucración cada vez mayor de la industria, particularmente de la gran industria nuclear.

Finalmente cabe mencionar la situación actual de paradoja en la que se encuentra la fusión termonuclear: después de 40 años de investigación, cuando los experimentos en fusión nuclear han logrado producir potencias de fusión de forma controlada superiores a los 10 MW y hacer que dicha alternativa energética entre en el escenario de su factibilidad tecnológica; ciertas condiciones externas relacionadas con la planificación energética que analizaremos a continuación (i.e. cierta situación energética "confortable" de los países desarrollados, paralización del desarrollo nuclear,...) han provocado unas restricciones presupuestarias para nuevos experimentos de fusión que hacen que su futuro desarrollo sea muy incierto (18).

4. ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS: Desafíos de la planificación energética.

La producción de energía en el futuro, aparte de tener en cuenta las posibilidades y limitaciones de las diferentes tecnologías energéticas analizadas, tiene que enfrentarse con los desafíos que plantean la elección de una determinada alternativa energética. Dicha elección la mayor parte de las veces se realiza -mas allá de las dificultades científicas y tecnológicas- en la esfera de las políticas energéticas de los países y sobre todo en base a unos planteamientos éticos sobre el desarrollo económico de la sociedad en general.

Existen en principio -con riesgo de una excesiva simplificación- tres aproximaciones generales a la planificación energética que, aunque sucesivas en la historia, también han tenido o tienen sus épocas de solapamiento y transición:

4.1. Aproximación energética economicista/desarrollista (histórica).

Históricamente el modelo de explotación de los recursos energéticos en el último siglo ha estado basado en un modelo economicista/desarrollista basado principalmente en combustibles baratos y abundantes. Por primera vez en 1967 la participación del petróleo en el consumo energético mundial fue superior a la del carbón y se convirtió en la fuente principal de energía en el mundo. El espectacular desarrollo industrial de los años 1945-1973 fue posible porque se dispuso sin limitación alguna de una energía abundante y barata: el petróleo en primer lugar y después los restantes combustibles fósiles.

Dicho sistema energético hizo crisis en las denominadas crisis del petróleo de 1973-1974 y verano de 1979, produciéndose un pánico popular sobre el agotamiento de los recursos energéticos del planeta. El precio del petróleo aumentó casi quince veces produciendo toda una serie de cambios sociales, políticos y económicos de excepcional importancia: enriquecimiento rápido de los países exportadores de petróleo integrados en la OPEC; desequilibrio fuerte en la balanza de pagos de los países importadores; inestabilidad monetaria internacional; empobrecimiento de los países del tercer mundo y replanteamiento global de las políticas energéticas de los países afectados.

A la crisis del petróleo se le sumó la preocupación creciente por el medio ambiente y las repercusiones que sobre el mismo tenían las diversas tecnologías energéticas. Dos hechos influyeron decisivamente en ir mas allá del criterio de energía barata y abundante e introducir la componente medioambiental en la planificación energética: la fuerte contestación de la energía nuclear a raíz del acci-

dente de TMI II (Harrisburg, Estados Unidos 1979) y la demanda de reducir la emisión de CO₂ en el mundo al 20% hasta el año 2005, realizada por primera vez por 300 científicos en la Conferencia de Toronto de 1988, en base a posibles cambios climáticos mundiales debidos al “efecto invernadero”.

Los hechos anteriores hicieron que se empezasen a cambiar ciertos postulados de la planificación energética introduciéndose conceptos como eficiencia energética, promoción de energías blandas (respetuosas con el medio ambiente) - en contraste con las energías duras utilizadas hasta el momento como el carbón, petróleo o gas-, ahorro y diversificación energética, redistribución de los recursos, control de precios, etc. poniendo fin al modelo histórico desarrollista de energía abundante y barata.

4.2. Aproximación energética de desarrollo viable/sostenible (Consejo Mundial de la Energía).

El sistema energético debe responder a un sistema de desarrollo viable o sostenible -el actual se experimenta como no viable y no se puede sostener o mantener- y a su vez debe ser respetuoso y compatible con el medio ambiente. Las políticas energéticas se basan en la estrategia de evitar que se produzcan grandes desequilibrios en el sistema energético que ocasionen grandes crisis sociales -como las derivadas de las crisis del petróleo de los años setenta- y el grave deterioro del medioambiente producido por el sistema energético anterior.

Desde estos planteamientos se realizan estudios detallados de los problemas regionales y a escala mundial de suministro energético; se realizan planteamientos a escala mundial de planificación energética, demanda global y predicciones de suministro; se apoyan políticas de conservación, ahorro y eficiencia energética; programas energéticos con énfasis en la protección al medio ambiente y análisis exhaustivos de políticas energéticas regionales.

En este contexto el estudio reciente mas exhaustivo ha sido el realizado por el Consejo Mundial de la Energía (WEC) sobre la evolución de la oferta y de la demanda de energía hasta el año 2020 y que nos detenemos a analizar brevemente (2). En dicho estudio se analizan los problemas energéticos actuales y futuros -tanto a escala mundial como regional- y se definen y formulan un conjunto de acciones precisas para hacer factible un suministro de energía adecuado a las necesidades, sostenible en el tiempo y ofertado a precios asequibles.

El estudio realiza una prospectiva de forma cualitativa en base a la agregación ponderada de los datos de los estudios regionales realizados por el WEC,

la Dirección de Energía de la Unión Europea (UE) y la Agencia Internacional de la Energía (IEA) con un horizonte del año 2020. En éste informe se presenta un marco de referencia para la posible utilización de las reservas energéticas desde las perspectivas de los diversos modelos posibles de desarrollo económico y demográfico de las diferentes áreas regionales del mundo.

El informe del WEC parte de la división del mundo en nueve grandes áreas regionales: Europa Occidental; Europa Central y Oriental; Comunidad de Estados Independientes, Georgia y Países Bálticos; América del Norte; Iberoamérica y el Caribe; Oriente Medio y Norte de África; África Subsahariana; Asia Meridional y Área del Pacífico. A partir de esta división territorial se estudian cuatro modelos posibles de evolución de la demanda hasta el año 2020 tomando como base de referencia los datos a 1990:

- a) *modelo de crecimiento alto* en el cual la demanda se duplica debido fundamentalmente a una alta demanda por parte de los Países en Desarrollo, las emisiones de CO₂ se duplicarían y se asume un aumento considerable de la eficiencia energética (reducción de la intensidad energética).
- b) *modelo de referencia* con un aumento de la demanda del 50%, un desarrollo lento de las energías renovables y un aumento del 44% en las emisiones de CO₂.
- c) *modelo de crecimiento de referencia adaptado* basado en un retraso en la reducción de la intensidad energética en los Países en Desarrollo y la antigua Unión Soviética, un crecimiento de la demanda del 40% y de las emisiones de CO₂ superior al 70%.
- d) *modelo de orientación ecológica* basado en una gran eficiencia energética y en mantener la demanda energética por debajo de un 28% superior a la demanda en 1990, expansión de las energías renovables y reducción del aumento de emisiones de CO₂ a un 5%.

Asumiendo una tasa de crecimiento demográfico del 1,4% anual -inferior al 2% y al 1,7% correspondiente a los periodos de 1960-1965 y 1985-1990 respectivamente- y los supuestos de liberalización de los mercados energéticos

(no intervencionismos), de reducción de la intensidad energética fruto de la solidez económica y la eliminación en el futuro del suministro de energías subsidiadas (precios por debajo de los costes de producción) el informe del WEC lanza **diez mensajes principales**:

1.Necesidad de un cambio: no se puede seguir utilizando la energía como se está haciendo ahora pues la demanda de los servicios proporcionados por la energía aumentará masivamente, ya que la energía no es una mera mercancía. El cambio debe iniciarse de inmediato puesto que la situación energética de los países industrializados aflorará de inmediato en los países en desarrollo.

2.Desequilibrio entre consumo y demanda: el 85% del aumento del consumo se hará en países en desarrollo. Mientras en 1990 el 75% de la población mundial sólo consumía el 33% de la energía, en el año 2020 el 85% de la población consumirá el 55% de la energía. Este gran desequilibrio puede dar lugar a un gran estancamiento económico de gran parte de la población mundial con el riesgo inherente de desestabilización geopolítica.

3.Utilización de la energía (coste/beneficio): los cambios en el inmovilizado material (eficiencia energética) parecen dar mejores resultados que la alteración o regulación de precios. La captación de los recursos necesarios para el desarrollo energético requiere por tanto cambios radicales en ciertos mercados e instituciones y en sus políticas de precios y modos de gestión.

4.Acelerar la transferencia de tecnología: desarrollo prioritario de la tecnología energética hacia nuevos mercados.

5.Los combustibles fósiles, en particular el carbón, seguirán cubriendo la mayor parte de las necesidades energéticas en las próximas décadas.

6.Dilema de la energía nuclear: mientras que será necesario su mantenimiento y desarrollo para satisfacer las necesidades de la demanda, debe encontrarse la manera de superar su falta de aceptación pública.

7.El desarrollo de las **energías renovables** requiere grandes inversiones financieras por lo cual necesita del apoyo financiero de los gobiernos.

8.Prestar especial atención a las **previsiones sobre el cambio climático**. Cierta falta de credibilidad acerca de ese cambio hace que no existe en la actualidad posibilidad realista para **estabilizar las emisiones de CO₂** a escala mundial en el año 2020 a los niveles de 1990 (propuesta de la Conferencia de Río de 1992).

9.Los países en desarrollo se preocupan de su **crecimiento regional** y sus **problemas medioambientales locales** y no tanto de los problemas globales a nivel mundial.

10.**Problemas de financiación energética**: la energía representa el 5% de PIB global y absorbe el 15% de la financiación total a nivel mundial. Se estima que los recursos financieros para las inversiones necesarias hasta el año 2020 serían de 30 billones de dólares (i.e. el 66% del PIB de Estados Unidos en 1989).

4.3. Aproximación ética del futuro energético: “Desarrollo mundial sostenible (End-use of Energy Project)”.

Existe otra aproximación al problema energético que en los últimos años va tomando peso en la comunidad de especialistas dedicados a la planificación energética y, aunque algunas de sus conclusiones pudieran considerarse implícitas en la aproximación anterior, sus premisas de partida son bastante diferentes.

En ésta aproximación las estrategias energéticas se plantean desde el punto de vista de los servicios sociales que proporciona la energía y de los objetivos sociales de desarrollo en general de los seres humanos. La producción de energía no debe hacerse sólo con los criterios puramente económicos (primera aproximación). Tampoco los criterios de protección al medio ambiente son suficientes (segunda aproximación). Hay que ir mas allá e introducir criterios éticos en la planificación energética: distribución más justa de los recursos energéticos y de su riqueza, creación de solidaridad, paz y armonía entre todos los países.

Esta aproximación supone dejar de pensar en el sistema energético como un fin en sí mismo al cual se le debe preservar de grandes perturbaciones o desequilibrios que lo hagan vulnerable o “insostenible” (una de las premisas

básicas de la segunda aproximación). El sistema energético pasa a considerarse como un vector más, aunque como hemos visto muy importante y decisivo, en el desarrollo de la humanidad. La explotación y utilización de los recursos energéticos no puede hacerse con el fin último de mantener un sistema energético económica y ecológicamente estable, sostenible y viable; sino hacer que el desarrollo global de la humanidad en condiciones dignas y justas sea “sostenible” y “viable” (19).

La necesidad de ésta nueva aproximación, superando la insuficiencia de las dos anteriores, se hace en base al análisis de la situación energética actual a nivel mundial contrastando las premisas energéticas de los países desarrollados con las realidades energéticas de los países pobres en desarrollo.

A) Premisas energéticas de los países desarrollados:

En el apartado 1 de ésta ponencia se resumía la situación energética mundial en las tres proposiciones básicas adoptadas en el Congreso del WEC en Madrid en 1992. Dichas proposiciones, aunque formuladas de forma diferente, fueron ya expresadas en las resoluciones de los últimos Congresos del WEC desde 1973. Sin embargo la puesta en práctica de éstas tres propuestas básicas se ha encontrado y encuentra con la dificultad de superar tres premisas que, aunque no formuladas de forma explícita, son aceptadas más o menos tácitamente en el diseño de las estrategias energéticas en los países desarrollados:

- 1) **La situación energética actual es “confortable”** y como consecuencia no existe una necesidad urgente de desarrollo de tecnologías avanzadas de producción energética. Los combustibles fósiles seguirán siendo la base del suministro energético en las próximas décadas.
- 2) Incluso si desarrolláramos rápidamente **las tecnologías avanzadas** (i.e. reactores avanzados de fisión, fusión nuclear, energías renovables,...) nadie las compraría pues **son caras** en su desarrollo.
- 3) **La solución es desarrollar lentamente las tecnologías avanzadas** y perfeccionarlas en las próximas décadas y después introducirlas en el mercado (i.e. desarrollar lentamente la energía nuclear mediante mayores cotas de seguridad y aceptación por la opinión pública de su uso). Entretanto perfeccionar el uso de energías basadas en combustibles fósiles, aumentar la eficiencia energética y la diversificación.

B) Situación energética de los países pobres en desarrollo:

Un contraste de las premisas anteriores con la situación energética real de los países en desarrollo demuestra que dichas premisas de los países desarrollados son altamente cuestionables ó incluso simplemente falsas. ¿Cual es ésa situación energética y cómo probar la falsedad de tales premisas?.

1. La situación energética de los países en desarrollo lejos de ser “confortable” es “catastrófica”.

En la Fig.2 y Tabla II hemos mostrado como 3/4 partes del consumo mundial de energía lo realizan los países desarrollados (OCDE, FEI, Europa del Este) y 1/3 de ésta cantidad la consume solamente Estados Unidos. Por otra parte también podemos observar que a nivel de países individuales el consumo de energía de la China y la India (con casi el 35% de la población mundial) sólo consumen el 9% (China) ó el 15% (India) del consumo de un país como Estados Unidos que sólo representa el 5% de la población mundial.

Si tomamos estos dos países, China e India, como referencia de las necesidades energéticas en el futuro de los países en desarrollo, en las Tablas VIII y IX (20-21) se muestra que solamente estos dos países necesitarán cerca de 1TW (1000 GW) de energía eléctrica en el año 2020 y que, de acuerdo con los planes energéticos de éstos países, el 50% de ésta cantidad (500 GW), serán producidos mediante combustibles fósiles. Dichas predicciones se basan, en el caso de China, en que su tasa de crecimiento económico anual (7.2% entre 1971-1991) se mantendrá hasta el año 2010 (5).

Tal situación energética lejos por tanto de ser confortable es más bien dramática: implica un incremento masivo del uso de combustibles fósiles en el futuro inmediato (5% de la producción mundial actual de energía cifrada en 10.000 GW), supone un impacto dramático sobre el medio ambiente y a su vez, el uso masivo de combustibles fósiles, ocasionará una mayor vulnerabilidad de los precios de dichos combustibles, los cuales podrían situarse a unos niveles no alcanzables por los países en desarrollo lo cual conllevaría al estrangulamiento económico de dichos países (22).

2. Estudios comparativos de costes muestran que las tecnologías nucleares actuales y las avanzadas, son en la peor de las estimaciones un 30-50% más caras en su desarrollo inicial que las tecnologías clásicas que utilizan combustibles fósiles, y serían competitivas en un desarrollo posterior más optimizado.

En las actuales centrales térmicas que utilizan combustibles fósiles una parte importante de los costes están asociados al combustible (Tabla X) (14). Este coste ha aumentado progresivamente en las últimas dos décadas (i.e. casi en un factor diez en el caso del petróleo), y debido a los problemas ambientales (impuesto del CO₂) y de seguridad en el suministro es casi seguro que dicho coste no sólo no se mantenga en los niveles actuales sino que posiblemente aumentará de manera significativa en las próximas décadas (23). Este alto precio de los combustibles fósiles puede ser compensado por el mayor coste de capital de las tecnologías energéticas nucleares de fisión o de fusión (en sus dispositivos más avanzados de confinamiento magnético denominados Tokamak).

En general se puede pues concluir que, mediante un análisis de costes que incluya todas las incertidumbres asociadas a la variación en los precios de los combustibles fósiles, no es posible afirmar que las tecnologías nucleares avanzadas resulten más caras que las tecnologías energéticas convencionales con combustibles fósiles. Mediante una política agresiva de desarrollo tecnológico acelerado de las mismas y su entrada más rápida en el mercado, las tecnologías nucleares avanzadas podrían incluso reducir sus costes llegando a estar al mismo nivel competitivo de costes que las térmicas convencionales (Tabla X: reactores de agua a presión avanzado PWR-BE y Tokamak avanzado ARIES-II). De un análisis similar se podrían sacar las mismas conclusiones con respecto a las energías renovables.

3.No es correcto hablar de “largo plazo” o desarrollo lento de las tecnologías avanzadas (i.e. energía nuclear) como vía para su perfeccionamiento, competitividad en el mercado ó mayores cotas de seguridad en su uso.

En primer lugar no ha existido ninguna tecnología que haya sido perfeccionada y desarrollada puramente en el laboratorio. Las tecnologías avanzadas mas bien han sido y son desarrolladas y perfeccionadas bien por fuertes estrategias militares o cuando han estado sujetas a las fuerzas competitivas del mercado. El desarrollo tecnológico actual, los grandes planes de inversión en Investigación y Desarrollo y las tecnologías actuales de planificación estratégica, hacen posible determinar (con un margen de error sólo de algunos años) cuando una determinada tecnología -en nuestro caso energética- va a estar desarrollada y disponible en el mercado. Este hecho se muestra en la Tabla XI (2).

En segundo lugar la industria nuclear actual (fisión nuclear), dejando aparte el análisis de sus dos accidentes puntuales graves, ha demostrado ser de las

pocas actividades industriales (si no la única) que opera en las mayores condiciones pensables de seguridad y en una constante mejora de las mismas. Por otra parte el freno en su desarrollo no garantiza automáticamente el abandono del desarrollo de la misma para fines militares.

En tercer lugar el desarrollo histórico y la financiación de las investigaciones en fusión nuclear -considerada siempre como la alternativa energética más compatible con condiciones económicas, medioambientales y de seguridad- es un buen ejemplo de lo anteriormente dicho, pues han estado y están marcados por intereses puramente político-militares ó político-económicos: problemas de fabricación de armas atómicas y materiales nucleares especiales (Tritio y Plutonio) y explosión de la primera bomba termonuclear en las islas Marshall (1940-1952), financiación extraordinaria de los grandes Tokamaks debido a las crisis energéticas (1973-1991) y de los láseres de potencia para los proyectos militares de defensa estratégica (1973-1986) (18).

En el último siglo, con la llegada de la revolución industrial y el desarrollo de tecnologías energéticas cada vez mas sofisticadas por los países desarrollados ha hecho que éstos, con una población cuatro veces menor que los países en desarrollo, hayan aumentado su producción hasta un 80% de la producción total mundial. En consecuencia la división entre el mundo pobre y el rico lejos de reducirse se ha incrementado, siendo una de las causas de éste fenómeno la explotación de recursos energéticos por los países desarrollados con criterios puramente económicos (energía abundante y barata) mediante el uso de los avances tecnológicos en detrimento de los países pobres (22).

El análisis de esta situación energética de los países en desarrollo nos lleva a concluir que las premisas implícitas en los planes energéticos de los países ricos son simplemente falsas y que una adecuada respuesta al problema energético en las próximas décadas tiene que pasar definitivamente por la abolición de las mismas mediante cambios estructurales profundos en todo el sistema energético a nivel mundial.

5. CONCLUSIÓN: Desarrollo urgente de tecnologías avanzadas.

Hemos visto a lo largo de la ponencia que la situación energética a nivel mundial es muy preocupante. Por una parte *el suministro y la utilización de la energía juegan un papel decisivo en la supervivencia y desarrollo de la mayor parte de la población mundial*. En segundo lugar, *el consumo energético se acentuará en las próximas décadas y será precisamente en aquellos países en los que*

las tecnologías avanzadas están poco desarrolladas ó prácticamente no existen. Por último hemos señalado que actualmente los países pobres en desarrollo, casi el 50% de la población mundial, no tienen acceso a la utilización de forma masiva de los recursos energéticos existentes, los cuales son esenciales para su desarrollo.

Ante ésta situación en la que se encuentra el problema de suministro energético y sus repercusiones en un desarrollo viable de la humanidad ¿cuales son las posibles alternativas ó vías de solución?. Asumiendo un alto riesgo de simplificación, en general se plantean **tres opciones posibles**: reducir el consumo energético a nivel mundial; mantener la situación actual con pequeñas mejoras y potenciar el desarrollo urgente de tecnologías avanzadas.

Creemos que la primera alternativa no es realista pues la demanda global de energía hemos visto que, aunque se estabilizase en los países desarrollados mediante técnicas de ahorro y eficiencia energética, seguirá aumentando a nivel mundial un 3-4% anual si se quiere mantener un crecimiento económico y un desarrollo a niveles de condiciones humanas dignas de casi el 80% de la población mundial. Al mismo tiempo una política energética en la que los países con un consumo energético muy por encima de la media mundial (Tabla II) redujesen sustancialmente su consumo para compensar el mayor consumo de los países en desarrollo correspondería a un mundo ideal inexistente.

La segunda posibilidad de mantener la situación actual mejorándola lentamente, supondría el seguir manteniendo un mundo polarizado en una minoría rica (20% de la población) y una gran masa de la humanidad (80% de la población) viviendo cada vez más en situaciones de pobreza inhumanas. Supondría un estrangulamiento energético y económico de los países en vías de desarrollo con un alto riesgo para la supervivencia de gran parte de la población humana, pues la historia nos muestra como dichas situaciones polarizadas de injusticia han acabado desembocando en ciclos bélicos con aniquilación masiva de seres humanos. Dichos conflictos bélicos en las décadas futuras, debido a la explosión demográfica y al uso de tecnologías militares avanzadas, podrían producir aniquilaciones masivas de la población muy superiores a las producidas en otros conflictos bélicos en el pasado.

Aunque desafortunadamente la segunda solución parece que puede ser la más probable, creemos que es la tercera alternativa -potenciar el desarrollo urgente de tecnologías avanzadas- la solución adecuada al problema energético (24): fuerte inversión por parte de los países ricos de sus tremendas capacidades económicas, científicas y tecnológicas en el desarrollo de tecnologías energéticas avanzadas tales como reactores avanzados de fisión, fusión nuclear y energías renovables.

La aceptación de ésta tercera alternativa conlleva sin embargo cambios estructurales en las formas de comportamiento de los países desarrollados y que implicarían los siguientes tipos de acciones:

1.Reducir en el sistema energético de los países desarrollados el consumo de los combustibles fósiles, en particular del petróleo. Dichos combustibles, dada la facilidad de su manejo y la relativa simplicidad de las tecnologías asociadas a su uso, son los que más necesitan los países pobres. Dicha reducción implicaría a su vez que los precios de dichos combustibles estarían más accesibles a los países pobres.

2.Transferir a los países pobres aquellas tecnologías de suministro y uso eficiente de la energía desarrolladas suficientemente por los países ricos. Dichas tecnologías podrían ser adoptadas más rápidamente por los países pobres y ayudarles a un mayor desarrollo autónomo.

3.Inversión de manera urgente por parte de los países ricos de cantidades importantes de dinero en programas de investigación y desarrollo en tecnologías energéticas avanzadas (i.e. tecnologías limpias del carbón, fisión y fusión nuclear, energías renovables,...), mediante una fuerte reconversión de fondos destinados a políticas militares de defensa hacia desarrollos políticos pacíficos.

Creemos que el grupo de acciones mencionadas son viables dado que los países desarrollados han demostrado a lo largo de los siglos -principalmente a través de sus políticas militares- tener la suficiente capacidad económica, científica y tecnológica para asumir los riesgos y beneficios del desarrollo y uso de las tecnologías avanzadas, y en particular de las tecnologías nucleares. La no asunción por dichos países de estos riesgos podría situar a la humanidad en un futuro no lejano ante las alternativas energéticas 1 y 2 mencionadas y en consecuencia ante los riesgos inherentes a las mismas.

En definitiva el problema de la producción de energía en el futuro dependerá fuertemente de juicios de valor con fuertes componentes éticas que se den sobre el desarrollo e implantación rápida de tecnologías energéticas avanzadas (i.e. en particular de tecnologías nucleares); y aunque ya desde 1924 se han ido haciendo esfuerzos (i.e. reuniones del WEC) por orientar la utilización de los recursos energéticos hacia un fomento del bienestar, la armonía y la solidaridad entre los pueblos, siguen siendo estos esfuerzos uno de los retos más importantes

en el futuro de toda política energética. Si bien cada tecnología energética tiene como hemos visto sus propias limitaciones y desafíos, la utilización en el futuro de una tecnología particular para el suministro energético se sitúa mas allá de sus aspectos puramente científicos y tecnológicos, siendo los problemas institucionales de carácter político y económico -en el fondo éticos- los más determinantes y difíciles de abordar.

BIBLIOGRAFIA:

- (1) Conclusiones y Recomendaciones del 15 Congreso del Consejo Mundial de la Energía, Madrid 25 de Septiembre, 1992.
- (2) Consejo Mundial de la Energía: "Energía para el mundo del mañana", Londres 1993, 398 pags.
- (3) Forum Atómico Español: "Energía 95", Madrid 1995, 167 pags.
- (4) J.Johner: "Perspectives Energétiques de la Fusion comparée aux autres sources d'Énergie", Report EUR-CEA-FC-1168 (Octubre 1982).
- (5) IAE OCDE : "World Energy Outlook: 1994 Edition", Paris 1994, 298 pags.
- (6) "UN Framework Convention on Climate Change", en "Climate Change 1992: The Supplementary Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assesment", Cambridge University Press 1992.
- (7) World Energy Council: "New Renewable Energy Resources", London 1994.
- (8) IAEA Bulletin vol.37, no.2 (1995) pag.45 y 53.
- (9) G. Díez Rodríguez: "La próxima generación de centrales nucleares", Estratos nº30, pags.5-9
- (10) M. Marco y R. Redon: "Programa español de centrales avanzadas", Revista de la Sociedad Nuclear española, Septiembre 1993, pp.13-19.
- (11) Joe F. Colvin: "Regaining the Economic Competitiveness of Nuclear Power in the United States", XIX Reunión de la Sociedad Nuclear Española, Cáceres, España, Octubre 1993.
- (12) J. Palomo: "Cambios de Cultura de Seguridad en la década de los 90", XX Reunión de la Sociedad Nuclear Española, Córdoba, España, Octubre 1994. Revista de la Sociedad Nuclear Española nº134bis, Septiembre 1994, p.91.
- (13) J. de Pinedo: "Calidad de la Gestión y Cultura de Seguridad", XIX Reunión de la Sociedad Nuclear Española, Caceres, España, Octubre 1993.
- (14) "Report of the Senior Committee on Environmental, Safety, and Economic Aspect of Magnetic Fusion Energy", UCRL-53766, Lawrence Livermore National Laboratory, Septiembre 1989 y R. W. Conn et al.. Nuclear Fusion 30 (1990) 1919-1934.

- (15) J. A. Tagle: "Fusión Nuclear", Editorial Debate, Madrid 1995, 130 pags.
- (16) J. A. Tagle y A. Loarte: "La fusión nuclear como alternativa energética: plasmas de Deuterio y Tritio en el Tokamak TFTR", Revista Española de Física vol 8, nº1 (1994)28-32.
- (17) J. A. Tagle: "Física del plasma y fusión nuclear controlada: experimentos con Tritio en el Tokamak JET", Revista Española de Física vol.6, nº3 (1992)10-19.
- (18) J. A. Tagle: "Fusión nuclear: ¿alternativa energética o gran ciencia?", Revista de Occidente, Madrid, no.142 (1993)49-77.
- (19) J. Goldemberg, T. B. Johansson, A. K. Reddy and R. H. Williams: "Energy for a sustainable World", Jhon Wiley & Sons, U.K. 1988, 517 pags.
- (20) J. K. Bhasin et al... Proceedings National Seminar on Electrical Energy and Environment, New Delhi 1989, Vol II-1.
- (21) D. Zhou et al. IAEA Bulletin no.3 (1990) 24-28.
- (22) Banco Mundial: "La pobreza 1980-1990", Informe sobre el desarrollo mundial, Banco Mundial 1990.
- (23) J. Edmonds and J. Reilly: "Global Energy: Assessing the future", Oxford University Press, New York 1985.
- (24) J. A. Tagle: "El problema ético de la energía: el porqué de la energía nuclear de fusión y las tecnologías nucleares avanzadas", Revista de la Sociedad Nuclear Española nº123bis (1993) p.18.

DISTRIBUCIÓN HISTÓRICA DEL CONSUMO DIARIO DE ENERGÍA PER CÁPITA (kilocalorías) SEGÚN LOS DIVERSOS SECTORES.

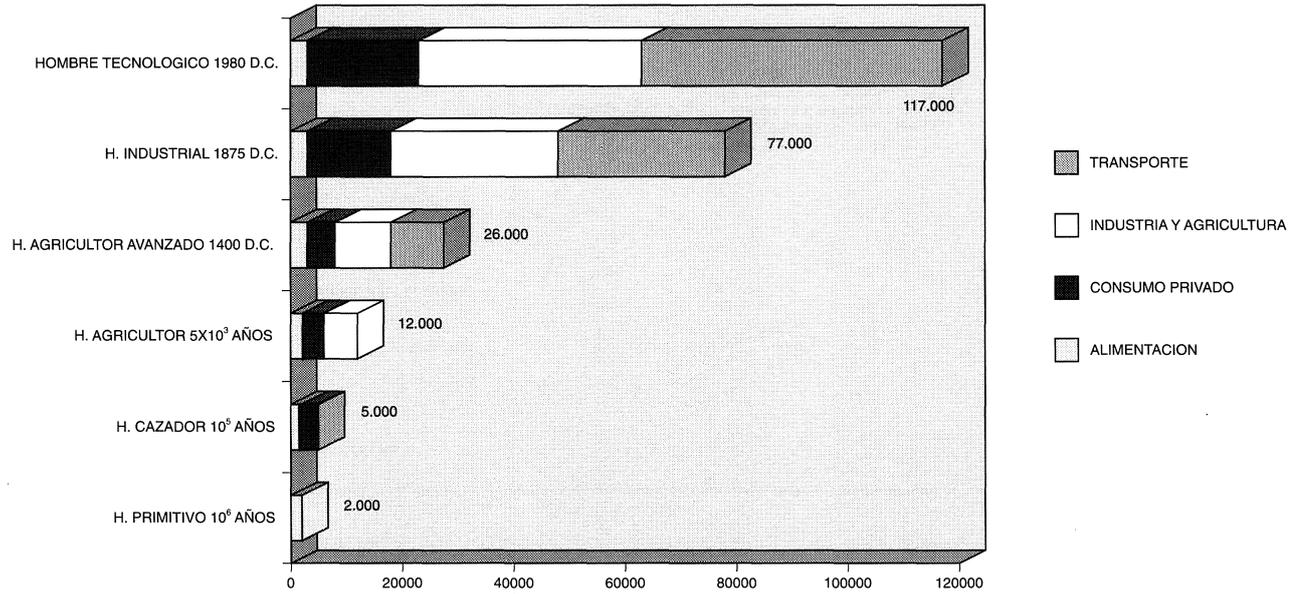


FIG.1

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA POR PERSONA Y AÑO SEGÚN LOS PAISES Y LA POBLACIÓN RELATIVA DE LOS MISMOS

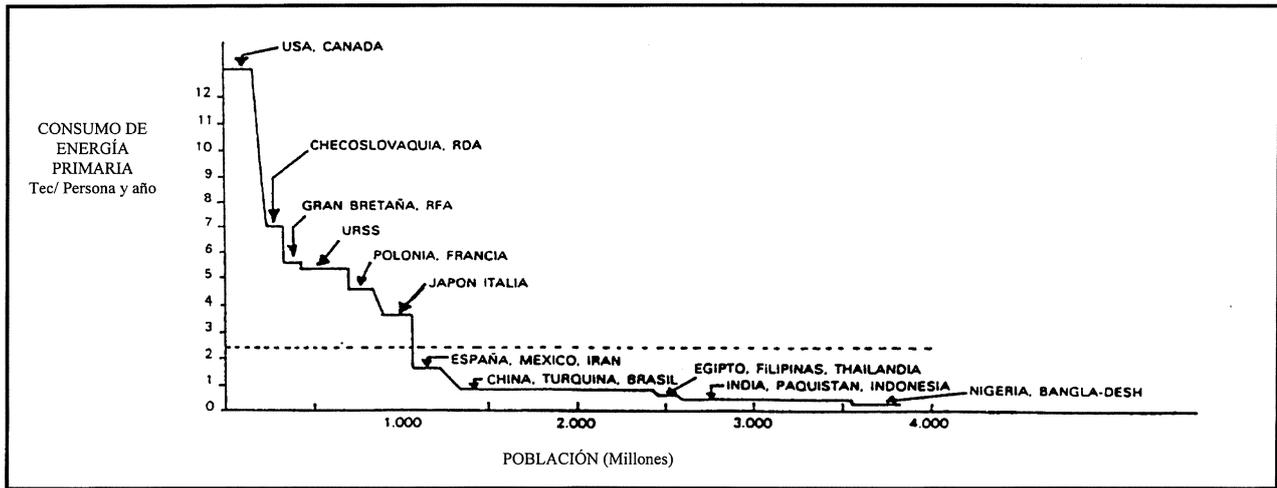


FIG.2

PERSPECTIVAS DE CRECIMIENTO DE LA ENERGÍA NUCLEOELÉCTRICA

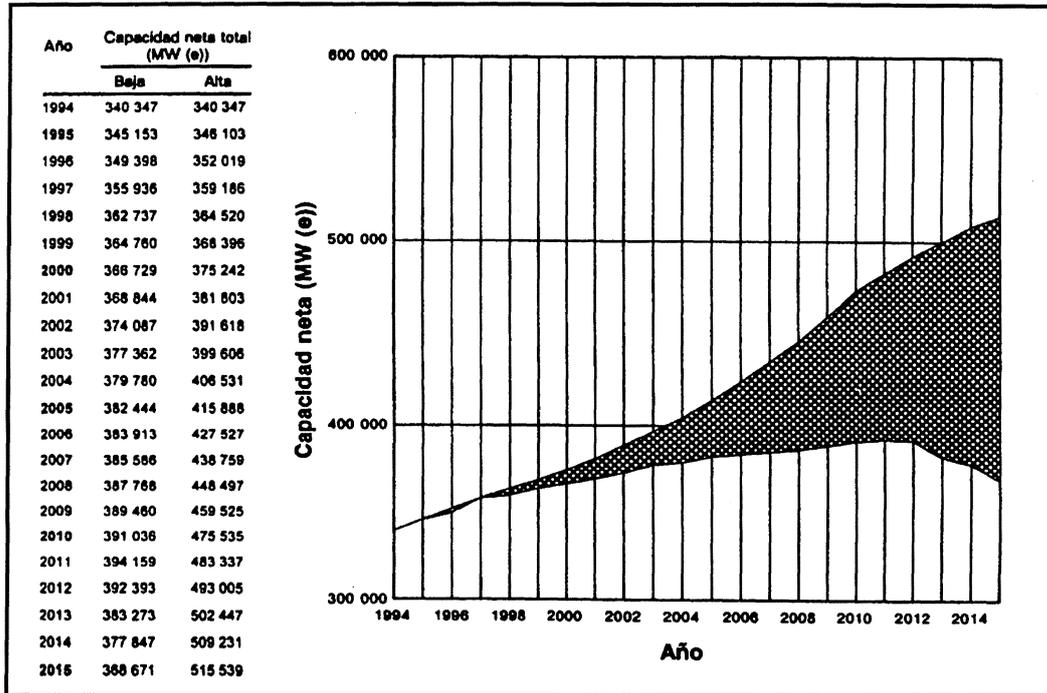
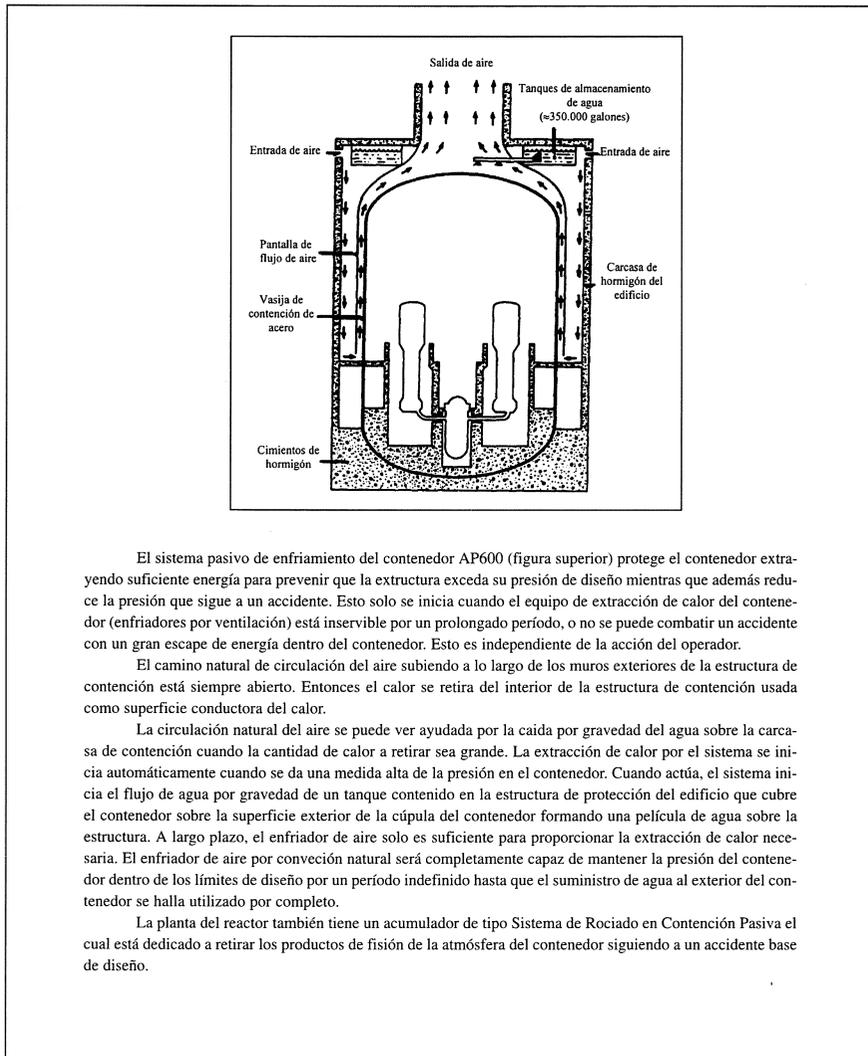


FIG. 3

ESQUEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA CONTENCIÓN DEL REACTOR PASIVO AP600.



El sistema pasivo de enfriamiento del contenedor AP600 (figura superior) protege el contenedor extrayendo suficiente energía para prevenir que la estructura exceda su presión de diseño mientras que además reduce la presión que sigue a un accidente. Esto solo se inicia cuando el equipo de extracción de calor del contenedor (enfriadores por ventilación) está inservible por un prolongado período, o no se puede combatir un accidente con un gran escape de energía dentro del contenedor. Esto es independiente de la acción del operador.

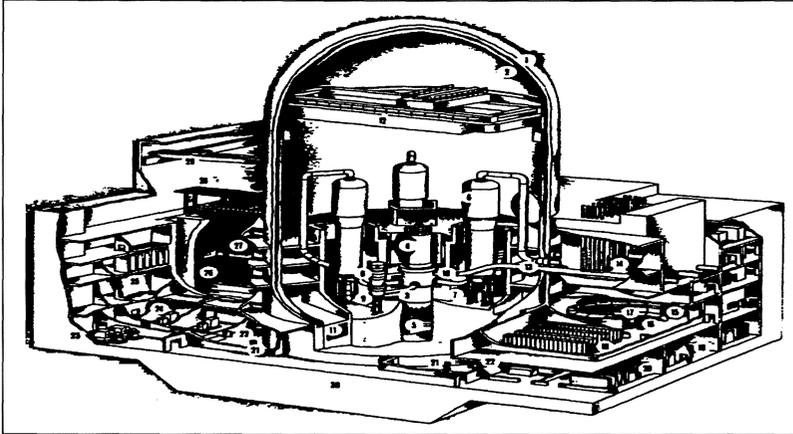
El camino natural de circulación del aire subiendo a lo largo de los muros exteriores de la estructura de contención está siempre abierto. Entonces el calor se retira del interior de la estructura de contención usada como superficie conductora del calor.

La circulación natural del aire se puede ver ayudada por la caída por gravedad del agua sobre la carcasa de contención cuando la cantidad de calor a retirar sea grande. La extracción de calor por el sistema se inicia automáticamente cuando se da una medida alta de la presión en el contenedor. Cuando actúa, el sistema inicia el flujo de agua por gravedad de un tanque contenido en la estructura de protección del edificio que cubre el contenedor sobre la superficie exterior de la cúpula del contenedor formando una película de agua sobre la estructura. A largo plazo, el enfriador de aire solo es suficiente para proporcionar la extracción de calor necesaria. El enfriador de aire por convección natural será completamente capaz de mantener la presión del contenedor dentro de los límites de diseño por un período indefinido hasta que el suministro de agua al exterior del contenedor se halla utilizado por completo.

La planta del reactor también tiene un acumulador de tipo Sistema de Rociado en Contención Pasiva el cual está dedicado a retirar los productos de fisión de la atmósfera del contenedor siguiendo a un accidente base de diseño.

FIG. 4

ESQUEMA DEL REACTOR APWR 1000



1. Blindaje de hormigón del edificio, 2. Vasija de contención de acero, 3. Vasija de presión del reactor, 4. Paquete principal integrado, 5. Canales de instrumentación de flujo interno, 6. Generador de vapor, 7. Soportes del generador de vapor, 8. Bomba refrigerante del reactor, 9. Soporte de la bomba del refrigerante del reactor, 10. Turbinas del circuito primario, 11. Tanque de almacenamiento de agua de emergencia interno a contención, 12. Grúa Polar, 13. Turbina de vapor principal, 14. Válvulas de seguridad de vapor principal, 15. Sala de control, 16. Consola del supervisor, 17. Consola del operador, 18. Controles auxiliares de la sala de control, 19. Parque de 480 V, 20. Parque de 6 KV, 21. Sistema de extracción de calor/Bombas de vaciado de contención, 22. bombas de inyección de seguridad de alta presión, 23. Bombas de agua de refrigeración de componentes, 24. Bombas de carga, 25. Intercambiador de calor de agua de inyección de cierres, 26. Bastidores de combustible gastado, 27. Combustible gastado, 28. Grúa de combustible, 29. Grúa del edificio del combustible, 30. Contención/Losa base del edificio auxiliar.

FIG. 5

COSTES DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN 1981-1991 PARA VARIOS TIPOS DE COMBUSTIBLES Y PREDICIONES DE COSTES PARA COMBUSTIBLE NUCLEAR Y CARBÓN EN 1991-2000.

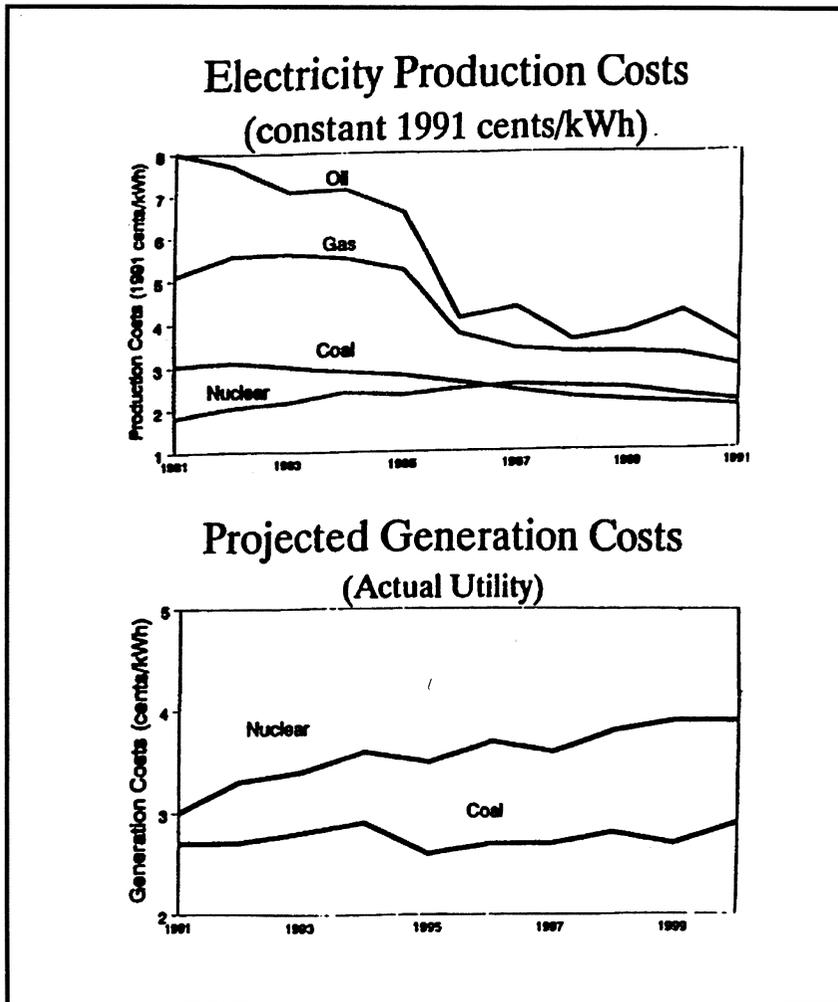


FIG. 6

HISTOGRAMA DE LA POTENCIA DE FUSIÓN OBTENIDA EN DISPOSITIVOS TOKAMAKS Y VALORES PROYECTADOS PARA 1994 (10 MW EN TFTR), 1996 (40 MW EN JET) Y 1500 MW PARA EL REACTOR ITER EN 2005.

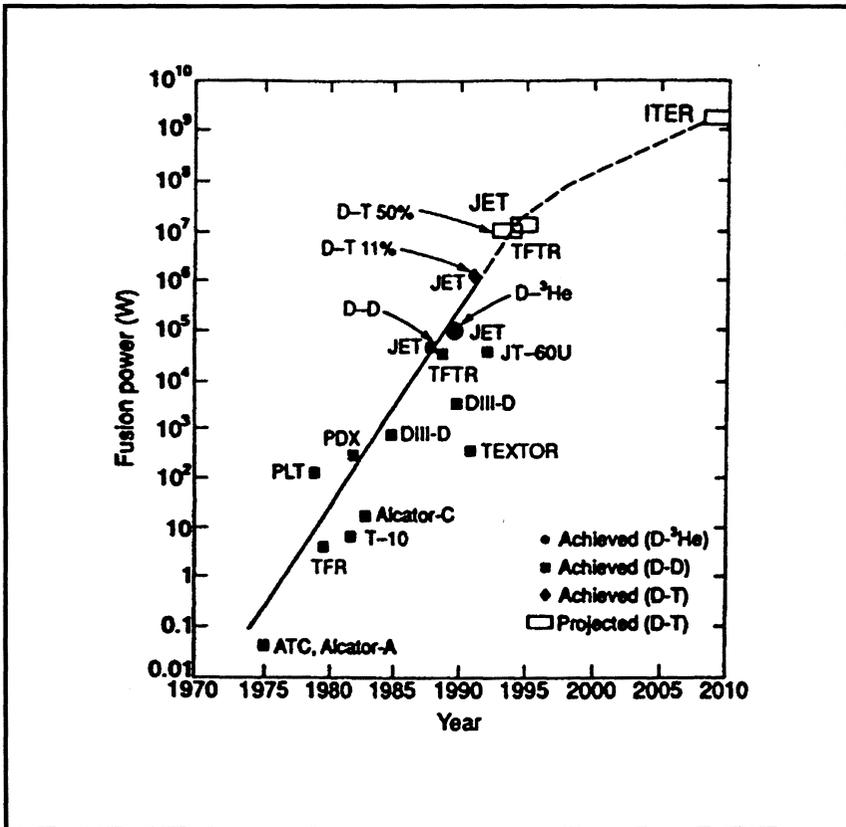


FIG. 7

TABLA I

Demanda de energía a nivel mundial (actual y previsiones hasta el año 2010).

Demanda de Energía (MTep)	1990	1995	2000	2010
Países Desarrollados	3.957	4.151	4.346	4.756
Europa Oriental y Ex-Unión Soviética	1.618	1.529	1.674	2.111
Países en Desarrollo	2.063	2.414	2.863	4.000
TOTAL	7.638	8.094	8.883	10.876

TABLA II

Principales parámetros de calidad de vida relacionados con el gasto energético (1992) y factor del crecimiento medio anual de la población (%) en la década 1980-1992 y el previsto para 1992-2000 y tasa media de crecimiento anual del PNB per capita (%) (1980-1992).

	Renta (\$/persona-año) 1992	Consumo energético (MTep) 1992	Esperanza vida (años) 1992	Analfabetismo	Aumento medio PNB (%)	Factor Variación Población
Canadá	20.710	203,1	78	< 5%	1,8	1,1 - 0,9
Estados Unidos	23.240	1.825,8	77	< 5%	1,7	1,0 - 1,0
Japón	28.190	436,8	79	< 5%	3,6	0,5 - 0,2
Reino Unido	17.790	214,1	76	< 5%	2,4	0,2 - 0,2
España	13.970	91,8	77	5%	2,9	0,4 - 0,0
Brasil	2.770	115,7	66	19%	0,4	2,0 - 1,4
China	470	161,2	69	27%	7,6	1,4 - 1,0
India	310	275,3	61	52%	3,1	2,1 - 1,7

TABLA III

Macrounidades energéticas y equivalentes entre unidades de energía.

MACROUNIDADES ENERGÉTICAS								
	Tonelada equivalente de carbón (tec)	Tonelada equivalente de petróleo (tep)	Producción Gigawatio hora (GWh) (**)	Teracalorías Tcal	Termias (***)	BTU	10 ³ barriles de petróleo (*)	10 ³ m ³ de gas natural (****)
Tm. equivalente carbón (tec)	1	0,7	3,14·10 ⁻³	0,007	7·10 ⁴	27,8·10 ⁵	5,3·10 ⁻³	0,778
Tm. equivalente petróleo (tep)	1,428	1	4,48·10 ⁻³	0,01	10 ⁴	39,7·10 ⁶	7,57·10 ⁻³	1,111
Producción GWh (**)	318,9	223,3	1	2,233	2,233·10 ⁶	8,865·10 ⁹	1,691	248,1
Teracalorías	142,8	100	0,448	1	10 ⁶	3,97·10 ⁹	0,758	111,1
Termias (***)	1,43·10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	0,448·10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	1	3,97·10 ³	0,758·10 ⁻⁶	1,11·10 ⁻⁴
BTU	0,36·10 ⁻⁷	0,252·10 ⁻⁷	0,113·10 ⁻⁹	0,252·10 ⁻⁹	0,252·10 ⁻³	1	0,191·10 ⁻⁹	0,28·10 ⁻⁷
10 ³ barriles de petróleo (*)	188,65	132,05	0,592	1,319	1,319·10 ⁶	5,24·10 ⁹	1	146,71
10 ³ m ³ de gas natural (****)	1,285	0,9	4,03·10 ⁻³	0,009	0,9·10 ⁴	35,7·10 ⁶	6,81·10 ⁻³	1

(*) Un barril de petróleo equivale a 42 galones USA (158,9 litros). 1 barril/día = 48,2 Tm/año.

(**) Un TEP en una central convencional con un rendimiento del 38,5 % produce 4,48 Mwh. La equivalencia directa (consumo) es 1 TEP = 11,63 MWh.

(***) La termia inglesa (Therm) equivale a 10⁵ BTU.

(****) Se considera 0,09 TEP por Gcal de poder calorífico superior.

FUENTE: Elaboración Propia.

EQUIVALENCIAS ENTRE UNIDADES DE TRABAJO O ENERGÍA EN SUS FORMAS ELÉCTRICA, MECÁNICA Y TÉRMICA									
	Ergio	Julio	kWh	kgfm	kcal	CV-h	BTU	HP-k	Quad
1 ergio	1	10 ⁷	2,778·10 ¹⁴	0,1020·10 ⁷	2,389·10 ¹¹	0,3774·10 ¹³	9,480·10 ¹¹	3,722·10 ¹⁴	9,48·10 ²⁶
1 julio	10 ⁷	1	2,778·10 ⁻⁷	0,1020	2,389·10 ⁻⁴	0,3774·10 ⁻⁶	9,480·10 ⁻⁴	3,722·10 ⁻⁷	9,48·10 ⁻¹⁹
1 kWh	3,600·10 ¹³	3,600·10 ⁶	1	3,671·10 ⁵	860	1,359	3413	1,341	3,413·10 ⁻¹²
1 kgfm	9,807·10 ⁷	9,807	2,726·10 ⁶	1	2,343·10 ³	0,3704·10 ⁻⁵	9,297·10 ⁻³	3,653·10 ⁶	9,297·10 ⁻¹⁸
1 kcal	4,186·10 ¹⁰	4,186·10 ³	1,163·10 ⁻³	426,9	1	1,581·10 ⁻³	3,969	1,559·10 ⁻³	3,969·10 ⁻¹⁵
1 CV-h	2,650·10 ¹¹	2,650·10 ⁶	0,736	2,700·10 ⁵	632,6	1	2510	0,9863	2,51·10 ⁻¹²
1 BTU	1,055·10 ¹⁰	1,0548·10 ³	2,930·10 ⁴	107,6	0,2520	0,3984·10 ⁻³	1	3,929·10 ⁻⁴	10 ¹⁵
1 HP-h	2,684·10 ¹³	2,684·10 ⁶	0,74557	2,737·10 ⁵	641,3	1,014	2545	1	2,545·10 ⁻¹²
1 Quad	1,055·10 ²⁵	1,0548·10 ¹⁸	2,930·10 ¹¹	1,076·10 ¹⁷	2,52·10 ¹⁴	0,398·10 ¹²	10 ¹⁵	3,929·10 ¹¹	1

TABLA IV

Reservas conocidas y estimadas de los diferentes tipos de energía.

TIPOS DE ENERGÍA	Reservas conocidas Q(térmicos)	Reservas estimadas Q(térmicos)
<i>Energías fósiles</i>		
Petróleo convencional	3,8	12
hullas/asfálticos	-	12
Bituminosos	-	1,8
Gas natural	2,2	9,9
TOTAL Petróleo + Gas	6	36
Carbón	18	100 - 300
<i>Energía nuclear</i>		
FISIÓN		
Reactores LWR		
U (minerales)	2	10
U (agua del mar)		2500
Supergeneradores		
U (minerales)	200	1000
U + Th (minerales ricos)		1800
U + Th (minerales pobres)		9000
U (agua del mar)		250.000
FUSIÓN D-T		
Li terrestre	80	560
Li agua del mar		$9,6 \cdot 10^6$
FUSIÓN D-D		
D agua del mar		$1,5 \cdot 10^{10}$
FUSIÓN p-Li6		
Li agua del mar		$7 \cdot 10^6$
FUSIÓN p-B11		
B agua del mar		$3 \cdot 10^8$
<i>Energías renovables</i>		
	Potencia técnica: Q/año	Q/año
Solar centralizada	0,6 Q(eléctricos)/año \approx 1,8 Q(térmicos)/año	
Otras : Biomasa	0,18	
Hidroeléctrica	0,09	
Eólica	0,09	
Geotérmica	0,06	
Térmica de los océanos	0,03	
Mareas, corrientes,...	0,0014	
Solar térmica individual	0,07	
TOTAL otras :	0,52 Q(eléctricos)/año \approx 0,8 Q(térmicos)/año	

TABLA V

Características más importantes de las Nuevas fuentes de Energía Renovables.

		Solar	Wind	Geothermal	Biomass	Ocean	Small hydro
Resource	Magnitude	Extremely large	Large	Very large	Very large	Very large	Large
	Distribution	World-wide	Coastal, mountains, plains	Tectonic boundaries	World-wide	Coastal, tropical	World-wide, mountains
	Variation	Daily, seasonal, weather-dependent	Highly variable	Constant	Seasonal, climate-dependent	Seasonal, tidal	Seasonal
	Intensity	Low 1 kW/sq m peak	Low average 0,8 MW/sq km	Low average Up to 600C	Moderate to low	Low	Moderate to low
Technology	Options	Low to high temp. thermal systems, photovoltaics, passive systems, bioconversion	Horizontal and vertical-axis wind turbines, wind pumps, sail power	Steam and binary thermodynamic cycles, total flow turbines, geopressed, magma	Combustion, fermentation, digestion, gasification, liquefaction	Low temp. thermodynamic cycles, mechanical wave oscillators, tidal dams	Low to high head turbines and dams and turbines
	Status	Developmental, some commercial	Many commercial, more developmental	Many commercial, some developmental	Some commercial, more developmental	Developmental	Mostly commercial
	Capacity factor	< 25% w/o storage, intermediate	Variable, most 15-30%	High, base load	As needed with short-term storage	Intermittent to base load	Intermittent to base load
	Key improvements	Materials, cost, efficiency, resource data	Materials, design, siting, resource data	Exploration, extraction, hot dry rock use	Technology, agriculture and forestry mgmt.	Technology, materials and cost	Turbines, cost, design, resource data
Environmental characteristics		Very clean Visual impact, local climate, PV manufacturing	Very clean Visual impact, noise, bird mortality	Clean Dissolved gases, brine disposal	Clean Impacts on fauna and other flora, toxic residues	Very clean Impact on local aquatic environ., visual impact	Very clean Impact on local aquatic environ., land use

TABLA VI

Estimación de las inversiones acumuladas que habrían de destinarse a las nuevas energías renovables

(en miles de millones de \$ USA)

Fuente / Año	Evolución constante			Con políticas de apoyo		
	2000	2010	2020	2000	2010	2020
Solar	52	134	313	65	265	1.205
Geotérmica	15	20	35	20	60	110
Biomasa moderna	50	100	150	66	140	260
Oceánica	1	10	55	1	50	150
Minicentrales Hidroeléctricas	21	50	100	36	88	150
Subtotal	159	374	833	223	738	2.280
Transferencias	10	23	56	15	49	147
total	169	397	889	238	789	2.427

TABLA VII

Principales proyectos en curso en la próxima generación de centrales nucleares.

REACTOR	PAÍS	SUMINISTRADOR	TIPO	POTENCIA MWe
AVANZADOS				
APWR	EEUU/Japón	W/Mitsubishi	PWR	1.350
ABWR	EEUU/Japón	GE/Hitachi-Toshiba	BWR	1.350
N4	Francia	Framatome	PWR	1.400
SIZEWELL-B	Reino Unido	CEGB	PWR	1.250
CE-SYSTEM 80	EEUU	CE	PWR	3.800(t)
CONVOY	Alemania	KWU	PWR	1.396
APWT Siemens	Alemania	Siemens	PWR	990
CANDU-6 Mark II	Canadá	AELC	PHWR	638
PWR-W-312	Italia	ENEL	PWR	985
PWR-2.000	Francia	Framatome	PWR	1.400
BWR-90	Suecia	Asea-Atom	BWR	1.050
VVER-1.000-1.800	URSS	Atom Energo/Export	PWR	1.000-1.800
CANDU-3	Canadá	AECL	PHWR	450
CANDU-6 Mark III	Canadá	AECL	PHWR	800-1.000
PASIVOS				
SBWR	EEUU	GE	BWR	600
AP-600	EEUU	W	PWR	630
B-600	EEUU	B&W	PWR	600
PIUS	Suecia	ABB ATOM	BWR	750
ISER	Japón		SRPV	210
SECURE-P	Suecia	ABB ATOM	PCRPV	300
OTROS DISEÑOS				
RCVS	Francia	Framatome	PWR	900-1.400
ATR (HWN-BWR)	Japón			606
HCLWR	Alemania/Suiza	Siemens	PWR	>1.500
NUPACK	EEUU	W	PWR	600
NP-300	Francia	Framatome	PWR	300
MAP	EEUU	CE	PWR	300

W = Westinghouse, GE = General Electric, CE = Combustion Engineering, KWU = Kraft Werk Union, AECL = Atomic Energy of Canadá Ltd., CEGB = Central Electric Generation Board, ENEL = Ente Nazionale Dell' ELETTRICITA, B&W = Babcock & Wilcox, PWR = Reactor de agua a presión, BWR = Reactor de agua en ebullición, PHWR = Reactor de agua pesada a presión, SRPV = Reactor integrado de vasija metálica, PCRPV = Reactor integrado de vasija de hormigón pretensado.

TABLA VIII

Consumo actual y predicciones de consumo de energía eléctrica en China e India hasta el año 2020 (21,22) (en GW).

	1950	1990	2000	2020
India	1,5	65	100	450
China	?	120	250	500

TABLA IX

Distribución de generación de energía eléctrica (GW) con diversas tecnologías de generación revisados en China y la India (21,22).

	India		China	
	1990	2020	1990	2020
Térmica (carbón, petróleo y gas)	44,5	220	115	400
Nuclear	1,5	30	0,5	45
Hidráulica	19	180	5	55
Energías no-convencionales	-	20	-	
TOTAL	65	450	120,5	500

TABLA X

Coste comparativo de los diversos métodos de generación eléctrica: convencionales y tecnologías nucleares avanzadas. Se asume un período de construcción de seis años, 75% de disponibilidad y costes en \$USA 1988. PWR-ME hace referencia a reactores PWR de fisión actuales, mientras que PWR-BE hace referencia a los PWR de fisión avanzados con mejores experiencias de regulación y construcción.

	Térmica (Carbón)	Fisión		Fusión Magnética (Tokamaks)	
		PWR-ME	PWR-BE	ARIES-I	ARIES-II
Potencia eléctrica neta (MW(e))	2 x 550	1.100	1.100	1.000	1.000
Coste de la electricidad (mills/kW(e).h)					
Coste de capital	22	57	30	53	35
Operación y mantenimiento	6	13	9	7	7
Combustible y cambio componentes	22	8	7	6	6
Desmantelamiento	0,1	0,6	0,6	0,5	0,5
TOTAL	50	78	46	66	48

TABLA XI

Perspectivas de desarrollo de las nuevas tecnologías industriales y de generación de energía eléctrica hasta el año 2030.

