

EL EPR (REACTOR PRESURIZADO EUROPEO)

Bertrand Barré
Presidente de la Sociedad
Nuclear Europea

A finales de 2003, la compañía eléctrica **TVO** anunciaba la elección del EPR para el quinto reactor nuclear de Finlandia. Ese año, el gobierno francés autorizó a EDF a pedir un EPR, del que se sabe que será construido en Flamanville (DYNA, junio 2005, pág. 82).

A finales de septiembre de 2004, la **Autoridad de Seguridad Nuclear** confirmaba su acuerdo con las opciones de seguridad consideradas en este reactor y, como contrapunto, los activistas antinucleares comenzaron una campaña "anti-EPR". ¿Qué ese concepto tan de actualidad?

"Familias" y "Generaciones"

El reactor nuclear es una máquina que produce energía manteniendo en el combustible que constituye su núcleo reacciones de fisión nuclear. Para formar el núcleo de un reactor es preciso incorporar un cierto número de elementos: materiales fisibles, que produzcan la energía, materiales fértiles, que, bajo la acción de los neutrones, se transformen parcialmente en materiales fisibles compensando así, más o menos el consumo de éstos, y materiales de control, ajustables en posición o en concentración, para regular la población de neutrones y, con ello, mantener la potencia del reactor al nivel deseado. Y, por supuesto, un fluido portador de calor que traslade las calorías desde ese núcleo a los sistemas o circuitos que transforman la energía a una forma utilizable, generalmente la electricidad. Añadamos, en su caso, un moderador que reduzca la velocidad de los neutrones entre la fisión de la que han surgido y la que, a su vez, van a

provocar. Se comprende que la combinación de todos estos ingredientes puede dar lugar a variantes en número considerable.

De hecho, a principios de la era nuclear se han soñado, diseñado y a menudo construido, todo tipo de reactores posibles y ¡la mayor parte han funcionado! Pero la inmensa mayoría de ellos ha quedado sin continuidad. Sólo una pequeña proporción ha sido origen de reactores con continuidad tecnológica, lo que se denominan familias nucleares.

Sin insistir en la historia de esta selección "natural" [1], se aprecian sus consecuencias en la figura 1, El

- Reactores de agua a presión (REP o PWR en occidente y VVR en versión rusa) en los que el agua que circula por el circuito primario que contiene el núcleo se mantiene en estado líquido a una presión del orden de 15 MPa por un presurizador. Este agua cede sus calorías en un generador de vapor a un circuito secundario donde se produce el vapor que accionará el turbogenerador. Hoy día, los 58 reactores de **EDF** son del tipo REP.

- Reactores de agua hirviendo REB o BWR en los que directamente el agua del circuito primario, que entra en ebullición, va a accionar la turbina.

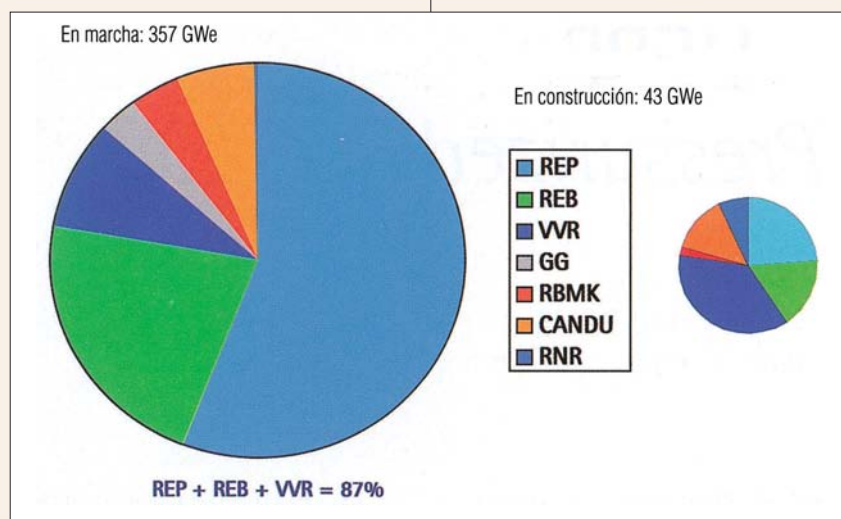


Figura 1. Reactores electronucleares a finales de 2000

87% de la potencia nuclear en marcha procede de reactores donde el agua ordinaria sirve a la vez de moderador y de transporte del calor, mientras que el combustible está formado por pastillas fritadas de óxido de uranio enriquecido hasta alrededor del 4% en U 235¹, apiladas en tubos estancos de aleación de circonio, constituyendo así lo que se llaman elementos combustibles. Estos reactores, con tecnologías similares, están agrupados en dos familias:

Si bien estas dos familias de reactores de agua ordinaria dominan el mercado, hay otras tres familias de las cuales solamente una está realmente en activo:

- Reactores moderados con grafito y refrigerados con gas carbónico, que acaban progresivamente su eficaz carrera en el Reino Unido tras haber estado también en el programa inicial francés.
- Reactores RBMK moderados con grafito y refrigerados con agua

¹. O de una mezcla de óxidos de uranio y de plutonio denominada MOX.

ordinaria hirviendo, que han sido descalificados definitivamente por el accidente de Chernobyl.

- Reactores moderados y refrigerados por agua pesada D_2O , que se mantienen activos en lo que se considera un mercado limitado.

Junto a esta noción de familia, se habla también de generaciones sucesivas de reactores. La primera generación agrupa a todos los reactores de la época pionera de los años 50 y 60. En Francia se trata típicamente de los antiguos reactores de gas-grafito y algunos otros.

- La segunda generación está constituida por la mayor parte de los reactores actualmente en funcionamiento en el mundo, puestos en servicio entre 1975 y 2005. A esta generación pertenecen todos los REP franceses aunque se han hecho numerosos progresos entre Fessenheim 1 (1977) y Civaux 2 (2000).

- La tercera generación es la que está llegando hoy al mercado. Sólo comprende reactores de agua y su arquetipo es el EPR.

- En cuanto a la cuarta generación, para la que se están empezando a definir los principios, sólo podrán concretarse sus ideas hacia 2040 y es la que se desea ajustar a un concepto nuclear sostenible. Habrá, sin

duda, reactores de neutrones rápidos, herederos del Superphénix, capaces de aprovechar íntegramente los recursos de uranio del planeta, y reactores de alta temperatura, que permitan la producción simultánea de electricidad, hidrógeno y agua dulce....Pero estos reactores están aun en la mesa de dibujo.

Génesis del proyecto EPR

El proyecto del reactor EPR es la conjunción de tres actuaciones paralelas.

- La primera es de naturaleza industrial: la voluntad de **Framatome** y **Siemens** de hacer converger los modelos REP francés y alemán. Para evitar que se llegase a un sistema superpuesto de dispositivos que constituyera una inversión exorbitante sin añadir realmente nada a la seguridad del conjunto, una convergencia de modelos solamente podía estudiarse en el marco de una convergencia de los enfoques de seguridad propios de los estados participantes.

- La segunda actuación deriva de las autoridades de seguridad nuclear una vez tenidas en cuenta las enseñanzas sacadas de las consecuencias del accidente de Chernobyl, que se pueden resumir simplificada-mente en: menos muertos que los que se temía, pero una extensión de la conta-

minación muy superior a lo que se había previsto, con el resultado de una reacción mundial de rechazo a la opción nuclear.

Por eso expondremos los tres objetivos comunes definidos en junio de 1993:

1. Reducir más aún la posibilidad de fusión del núcleo del reactor,
2. Eliminar prácticamente las situaciones accidentales que podrían producir una emisión inmediata y masiva de radioactividad.
3. En caso de fusión del núcleo, garantizar por diseño que la emisión máxima de radiactividad sólo exija medidas de protección muy limitadas en el tiempo y en el espacio.

Si los dos primeros objetivos son solamente una continuidad de la filosofía de seguridad existente, el tercero, que se puede traducir por nada de evacuación permanente, sino únicamente evacuación temporal limitada a la vecindad inmediata de la central y nada de condena permanente de terrenos agrícolas, coloca la fusión del núcleo entre los criterios dimensionales².

- La última actuación corresponde a las compañías europeas de electricidad. Cinco compañías europeas, reunidas poco a poco de entre otras, iniciaron en 1991 el esfuerzo que debía concluir en los EUR (European Utilities Requirements), requisitos comunes a los que deberían satisfacer los reactores de agua ordinaria. Estos requisitos no se limitaban a la seguridad, sino que también costos, márgenes, disponibilidad, duración de vida, sencillez de funcionamiento, capacidad de reciclaje, etc., fueron objeto de especificaciones, absolutas o relativas. He aquí algunas de ellas:

- Competitividad económica con la más moderna de las grandes centrales térmicas para un funcionamiento a plena potencia entre 4.500 y 5.500 horas por año.

- Duración de vida de 60 años para los componentes no reemplazables (vasija, contención, obra civil).

- Posibilidad de cargar el 50% del núcleo en conjuntos MOX.

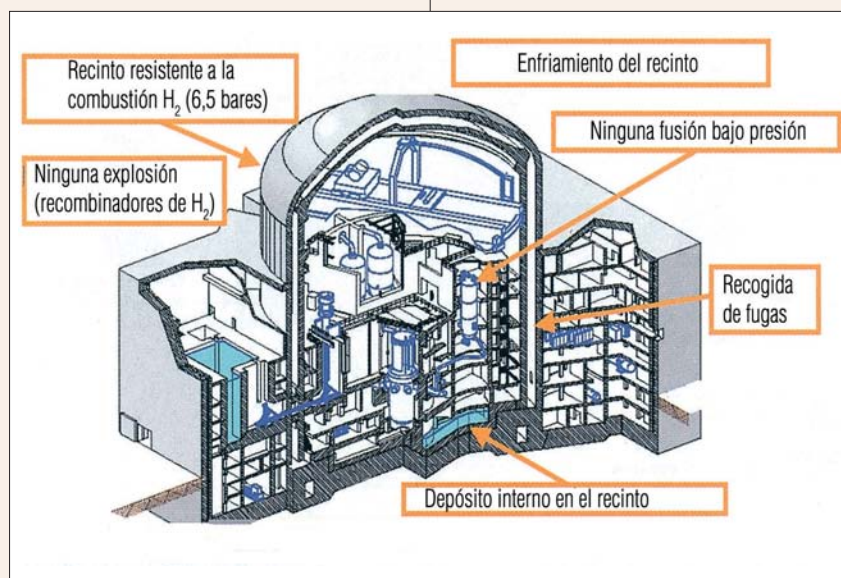


Figura 2. Dispositivos de "mitigación" de accidentes graves en el EPR

². No es indiferente observar que las Autoridades de Seguridad francesa y alemana indicaron claramente sus preferencias por los conceptos "evolucionarios", porque la experiencia de la que se benefician es un elemento importante de seguridad, frente a los conceptos "revolucionarios", más innovadores pero menos garantizados.

- Ciclos de 12 a 24 meses, con posibilidad de extensión de 60 días equivalentes a plena potencia.

- Frecuencia total de daño al núcleo $< 10^{-5}$ por año.

- Frecuencia acumulada de accidentes que provoquen una emisión significativa de radiactividad $< 10^{-6}$ por año.

- Ninguna evacuación de más de un año a más distancia de 800 metros del reactor.

Estas tres actuaciones han llevado a la unificación del programa de los industriales con el de **EDF** y de un grupo de eléctricas alemanas para crear el EPR, y a la convergencia franco-alemana para constituir la compañía **Framatome-ANP**, filial de **AREVA** al 66%.

Un reactor de tecnología punta

Grosso modo, el EPR es una combinación mejorada del N4 francés y del

nes en el caso – muy improbable – de una fusión del núcleo.

Las mejoras del EPR en seguridad

Están en línea con las orientaciones de la seguridad nuclear en el mundo. Se dirigen a la protección frente a accidentes graves de fusión del núcleo y sus consecuencias.

Las situaciones accidentales que podrían abocar a un desprendimiento inmediato y masivo de radiactividad (accidente con fusión del núcleo a alta presión) están eliminadas. Para alcanzar ese resultado, el EPR está equipado, además de con los sistemas habituales de despresurización y de extracción de la potencia residual, con una línea de defensa suplementaria formada por un conjunto de válvulas motorizadas mandadas por el operador.

La probabilidad de fusión del núcleo, ya ínfima en el N4, todavía se ha

y diversificados. En particular, el sistema de inyección de seguridad y el de alimentación auxiliar de agua de los generadores de vapor están divididos cada uno en cuatro subsistemas o “trenes”. Cualquiera de ellos tiene capacidad para asegurar por sí solo la función íntegra de seguridad, y está separado de los otros tres para evitar que no fallen juntos por efecto de la misma causa.

Además, la central está concebida para que un accidente de fusión del núcleo, aunque altamente improbable, no suponga fuera de su ubicación más que medidas muy limitadas en el tiempo y en el espacio: ninguna evacuación permanente, evacuación temporal limitada a la proximidad inmediata y nunca una condena permanente de los terrenos agrícolas. La necesaria contención de la radiactividad se obtiene por la extremada robustez del recinto estanco que encierra el reactor (2,6 m de espesor total de hormigón) y por los dispositivos y sistemas que lo protegen contra todo tipo de daño:

- Recinto interior del edificio del reactor en hormigón precomprimido, resistente a la presión debida a la combustión del hidrógeno y recombinadores catalíticos para prevenir la explosión.

- Zona dedicada a la expansión y enfriamiento del núcleo fundido con dispositivo pasivo de inmersión y protección refractaria del hormigón estructural.

- Sistema de aspersión dedicado al control de la presión en el interior del recinto y al enfriamiento del hormigón estructural para asegurar su integridad a largo plazo.

- Recogida de fugas en el espacio entre los recintos interno y externo del edificio del reactor, con filtración antes de enviarlos a la chimenea.

La protección del EPR contra las consecuencias de la caída de un avión u otra agresión externa es particularmente robusta:

- Edificio del reactor, cuyo recinto externo en hormigón armado y estructuras internas están dimensionados para resistir los efectos de vibraciones inducidas y de perforación.

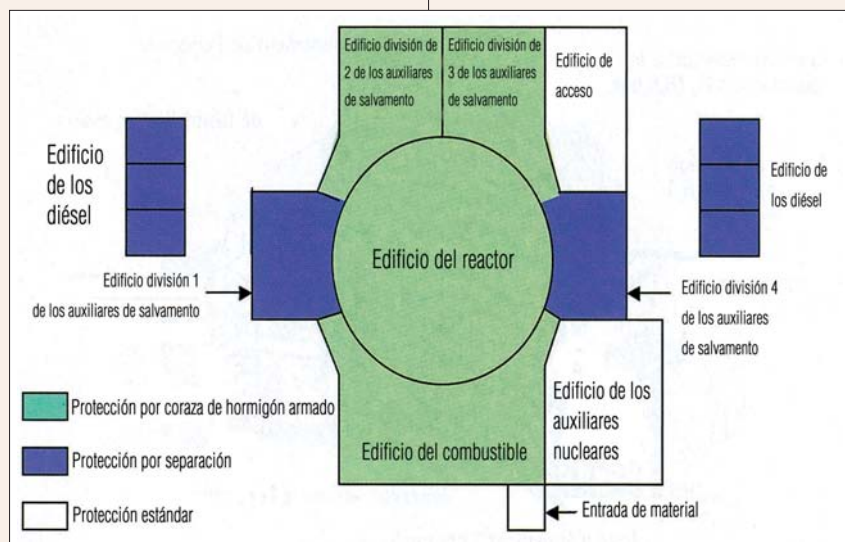


Figura 3. Protección del EPR contra agresiones externas

Konvoi alemán, los modelos más modernos en servicio en ambos países, escogiendo en cada tema la opción más conservadora en lo relativo a márgenes. Satisface a la vez los objetivos de seguridad de 1993 y a los EUR; su concepción es “evolucionaria”, sacando el mejor partido posible de las experiencias tenidas en las centrales francesas y alemanas; el nivel de seguridad se ha reforzado tanto respecto a incidentes internos como a agresiones externas, y dispositivos apropiados limitan las emisio-

dividido por 10 en el EPR. Esto se ha conseguido por una parte reduciendo la probabilidad de incidentes que podrían llevar a esa situación y, por otra, aumentando la disponibilidad de sistemas de seguridad que impidan el desarrollo de tales situaciones.

Con este fin, el EPR está dotado de reservas de agua importantes (vasija, presurizador, generadores de vapor) que prolongan el tiempo disponible para ejecutar acciones correctoras, y sus sistemas importantes de seguridad son sencillos, redundantes

- Distribución de los distintos trenes de sistemas de seguridad en cuatro edificios diferentes: dos *bunkerizados* (protegidos por una envoltura de hormigón armado) y los otros dos físicamente distantes (a uno y otro lado del edificio del reactor), de manera que se garantice que, por lo menos, un “tren” permanezca siempre operativo.

Edificio que contiene el combustible usado, igualmente *bunkerizado*.

Hemos detallado esta descripción en materia de seguridad para subrayar el salto conceptual de este proyecto, realmente el primer reactor post Chernobyl. El EPR contiene además otras mejoras que se describen a continuación.

Avances en materia de explotación

Complementariamente a las mejoras en materia de radioprotección, de producción de residuos o efluentes y de ergonomía en la sala de control, señalemos la simplificación del mantenimiento. Ahora será posible principalmente efectuar ciertas intervenciones sin parar previamente el reactor, gracias a la redundancia de los sistemas de seguridad.

La economía

Con márgenes más conservadores, más hormigón y dispositivos adicionales, etc. se podría deducir que el EPR será más caro que el N4, justo cuando se intenta su presencia en un contexto de competencia mucho más dura con las centrales de combustibles fósiles, especialmente las de turbinas de gas de ciclo combinado. Nada de eso. Los sobrecostos se compensan en exceso por ganancias en:

- La inversión por megavatio instalado ya que la potencia se eleva a 1.600 MWe, el rendimiento térmico entre 36 y 37% según lugares (fuente fría) y duración de vida de 60 años.

- La utilización del combustible³.

Para una producción de base en el horizonte de 2020, según estimaciones de **Framatome-ANP** en 2002, el MWh del ERP se situará por debajo de los 30 euros (coste actualizado), o sea alrededor de un 20% menos que el MWh fósil más rentable de aquella época. La reciente evolución de los precios del gas, que siempre siguen al del petróleo con un cierto retraso, no hace más que corroborar esta afirmación. La competitividad del EPR con relación a las centrales de combustible fósil sería aun muy superior si se tuvieran en cuenta, en el precio del MWh, costos “externos” sociales y medioambientales de cada modalidad de producción de electricidad, especialmente las emisiones de gas de efecto invernadero tal como se indica en la tabla 2.

Se debe también considerar que la vida técnica del EPR, 60 años, de los que al menos los primeros 40 no precisan importantes rejuvenecimientos, ocasionará menor cantidad de residuos a gestionar en el momento de su parada definitiva.

El mercado

Si bien el EPR es el arquetipo de la 3ª generación, no se encuentra solo en ella. Hay seria competencia en la familia PWR, en la BWR y hasta en el VVR y el CANDU. El único, junto con el EPR, que se ha pedido es el ABWR, BWR avanzado que se construye en Taiwan⁴. Se trata igualmente de un gran reactor de tipo “evolucionario”.

En un enfoque “revolucionario”, **Westinghouse** acaba de obtener de la autoridad reguladora americana la precertificación de su modelo AP 1000, y **General Electric** propone su proyecto de BWR “simplificado”, ESBWR. **Framatome-ANP** tiene también en catálogo el SWR 1000, un reactor de agua hirviendo cuya concepción incorpora ciertos dispositivos muy innovadores.

A finales de 2003, en la resolución de un concurso donde estaban presentes el ABWR y uno de los más modernos VVR, la compañía eléctrica finlandesa **TVO** ha escogido el EPR para instalar en Olkiluoto el quinto reactor de Finlandia, primer pedido europeo de los últimos diez años. **EDF** ha decidido la construcción de un segundo EPR una vez que la **Autoridad de Seguridad** ha confirmado su aprobación a los sistemas de seguridad que respaldan el proyecto.

¿Y después de Finlandia y Francia? Nadie impide soñar en China o, incluso, en Estados Unidos... El único límite a la introducción de este modelo de tecnología punta es su gran tamaño, que le pone fuera del alcance de redes eléctricas demasiado limitadas o insuficientemente interconectadas.

Pero meditemos sobre nuestra situación: ¿por qué un **EPR** en Francia... hoy, cuando ya más de las tres cuartas partes de nuestra electricidad es de origen nuclear?

Decidir la renovación del parque con conocimiento de causa...

Según los escenarios manejados por EDF, la potencia instalada de un parque renovado sería de unos 60 GWe, comparable a la del parque actual, con las primeras unidades entrando en servicio entre 2020 y 2025.

Al contrario que el parque actual, fruto de un programa de choque lanzado urgentemente con la primera crisis del petróleo, la renovación sería suave y se extendería a lo largo de una treintena de años (lo que supone dar al parque actual una duración media de alrededor de 50 años). Por otra parte, no será, como muy pronto, hasta 2035 cuando los primeros reactores de la famosa 4ª generación, si arrancan industrialmente, entrarían en producción en el parque.

³. Con el EPR el combustible está más aprovechado por una mejor economía de neutrones (menos fugas) gracias a un núcleo más voluminoso y a un reflector lateral, a un aumento del rendimiento (relación entre la potencia eléctrica y la potencia térmica de la instalación) y a la posibilidad de aumentar la tasa de quemado del combustible hasta 70 GWd/t. De todo ello resulta un beneficio en el coste del ciclo.

⁴. En Japón funcionan desde 1997 dos reactores de un modelo anterior de ABWR, pero ese modelo no forma parte propiamente de la 3ª generación en especial en lo que respecta a la mitigación de accidentes graves.

Valor medio 2015 TTC	Nuclear EPR	Ciclo combinado gas	Carbón pulverizado	Carbón lecho fluido
Actualización 8%	28,4	35,0	33,7	32,0
Actualización 5%	21,7	33,4	29,5	28,1
+ Costos CO ₂ (4 a 20 €/t)		1,4 - 7,1	2,9 - 14,6	3 - 15

Tabla 2. Costos de la producción centralizada de electricidad con base en 2015 (euro2001/MWh)

En estas condiciones, la primera fase al menos de renovación del parque, a partir de 2020, no podría asegurarse más que con la construcción, a un ritmo del orden de 3.000 MW cada 18 meses, de un grupo de reactores de agua con una capacidad de 20 a 30 GW o más si los conceptos de la 4ª generación tardan en despegar.

Para decidir en 2015, con un bagaje suficiente de experiencia, la construcción de una serie de, por lo menos, una docena de unidades que sean productivas a partir de 2020, es ahora cuando hay que decidir y emprender una primera instalación que entre en servicio en 2012. Esta construcción es el EPR que responde a los requisitos de explotación de EDF y a las exigencias de la **Autoridad de Seguridad...**

...garantizando siempre la conservación del parque existente...

El parque actual es económicamente eficiente. Es el objetivo que le mantiene en condiciones satisfactorias de seguridad, aunque sus unidades van siendo cada vez más viejas. Pero, como las exigencias serán mayores, dentro de los próximos 20 años, será necesario mantener despierta a la industria y poder renovar su capacidad de concepción e innovación. La movilización alrededor del EPR contribuirá de manera determinante a ello.

...por un precio razonable.

La ejecución del primer EPR se estima en 2.800 millones de euros (sin contar los intereses intercalarios), o sea menos del 3% del valor de los medios franceses actuales de producción nuclear de electricidad. Es una inversión que parece razonable para disponer, cuando haya que decidir la renovación del parque, de una seguridad basada en la experiencia de explotación de una primera unidad. Tampoco será una prima im-

productiva de seguro porque su electricidad será bien acogida en la red europea.

Conclusión

Cada año consumimos el equivalente de 10.000 millones de toneladas de petróleo, mientras un tercio de la Humanidad sólo tiene acceso a las fuentes tradicionales de calentamiento como la madera o los excrementos animales. La presión demográfica y el desarrollo que comienza – por fin – a introducirse en los países más poblados del planeta, hacen que nuestras necesidades de energía no cesen de crecer.

El 80% de esta energía procede de la combustión de petróleo, gas o

carbón. Aparte de los problemas de durabilidad de los recursos de hidrocarburos y su reparto geopolítico, esta combustión constituye con mucho la principal fuente de emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero, cuya acumulación plantea una seria amenaza sobre la futura habitabilidad del planeta.

Para enfrentarse a este dilema, será necesario poner en marcha todo un abanico de medidas, cada una de las cuales no bastaría por sí sola: racionalizar la demanda energética, aumentar sensiblemente la aportación relativa de las fuentes de energía nuclear y renovables que no emitan CO₂ y acumular este gas antes de emitirlo a la atmósfera, si es posible.

La energía nuclear produce solamente menos del 7% de la energía primaria que consumimos: en el contexto que acabamos de describir, tiene un fuerte potencial de crecimiento mundial. En este crecimiento Francia tiene una carta a jugar, un triunfo que se llama EPR. ■



La evolución natural de los Centros de Transformación

- ▲ Mínima obra civil
- ▲ Dimensiones reducidas
- ▲ Menor coste de instalación
- ▲ Rapidez en el montaje
- ▲ Mantenimiento mínimo
- ▲ No requiere sistema de prevención de incendios
- ▲ Pérdidas reducidas
- ▲ Calentamiento mínimo
- ▲ Sin SF₆ ni PCB
- ▲ Acorde con el Protocolo de Kyoto
- ▲ Fácilmente integrable en el entorno

Informese sobre el CTIN y sus ventajas en WWW.INCOESA.COM y descargue el Kit de Proyectos totalmente gratis.



Premio Europeo de Medio Ambiente
2003-2004 Categoría de Producto para el Desarrollo Sostenible
Premio a la mejora más destacable

Premio Europeo de Medio Ambiente
Premio al producto más innovador en
relación a los aspectos de Salud y Medio Ambiente

Premio Medio Ambiente 2003 Garrigues Expansión
Mejor iniciativa empresarial de I+D+i
Aplicación de las mejores tecnologías

Teléfono: 946 313300
Fax: 946 312 175
Mail: Comercial@incoesa.com
Dirección: Bidecoche 18B Bedia 48390 Bizkaia



CTIN