

# Aspectos económicos del almacenamiento del combustible gastado

*Breve descripción de la metodología elaborada por el OIEA para el análisis de costos*

por José L. Rojas de Diego

**E**n la parte final del ciclo del combustible nuclear se pueden adoptar tres estrategias distintas: el ciclo de utilización del combustible en una sola etapa, que incluye el almacenamiento definitivo del combustible gastado; el ciclo abierto, en que el combustible se almacena temporalmente con miras a su recuperación en el futuro o a su almacenamiento definitivo; y el ciclo cerrado, en que se reelabora el combustible gastado, y se reciclan el uranio y el plutonio recuperados.

Desde el punto de vista conceptual, el almacenamiento del combustible gastado comprende tanto el método de almacenamiento temporal como el definitivo, aunque el almacenamiento definitivo no esté demostrado todavía. En los próximos 30 a 50 años, será preciso construir instalaciones de almacenamiento definitivo en aquellos países que hayan escogido esta estrategia. Por tanto, el almacenamiento temporal del combustible gastado, que permite su ulterior recuperación, es una estrategia muy importante que debe tenerse en cuenta en muchos procesos de formulación de políticas.

La principal finalidad de este artículo es examinar sucintamente los aspectos económicos de las distintas opciones de almacenamiento de combustible gastado mediante la aplicación de una metodología elaborada por el OIEA para calcular los distintos costos de almacenamiento y analizarlos de manera adecuada.\* En ella se abordan, en particular, las repercusiones de la cantidad, el período y los métodos de almacenamiento, la financiación y el proceso que media entre la planificación y la construcción de una instalación de almacenamiento de combustible gastado y su clausura.

## Consideraciones relativas a los costos

Los costos totales de almacenamiento deben basarse en una evaluación técnica pormenorizada del tipo de combustible que se va a almacenar y de la opción de almacenamiento seleccionada, teniendo en cuenta todas las características técnicas posibles.

Para realizar una estimación precisa de los costos es necesario tener presente, en primer lugar, que algunos parámetros básicos afectan todas las opciones posibles, e influyen notable-

mente en el diseño de la instalación de almacenamiento. Entre estos parámetros figuran la cantidad de combustible que ha de almacenarse (capacidad); el plan de operaciones previsto; el tiempo de almacenamiento; el plan de recuperación y las características del combustible gastado.

Los distintos costos de una instalación de almacenamiento pueden clasificarse en categorías de costos y componentes de los costos. En las categorías se incluyen la preparación inicial, la inversión, la explotación, el aprovechamiento durante la explotación, el transporte y la clausura.

Para calcular bien los costos es preciso distinguir claramente los distintos componentes de cada categoría.

Por ejemplo, en los costos de inversión, los componentes más importantes son la adquisición del terreno, la preparación del emplazamiento, el diseño y la técnica, la edificación y la construcción, el equipo de procesos, el equipo de instrumentación y la puesta en servicio.

En los costos de explotación, los componentes que deben tenerse en cuenta son la mano de obra, los materiales y productos, los servicios, la energía, el mantenimiento, el acondicionamiento y la evacuación de los desechos, las cuotas y los seguros y la garantía de calidad.

Entre los componentes importantes de los costos de preparación iniciales deben incluirse los costos de tramitación de licencias y de reglamentación, los que repercuten en los costos de explotación cuando las autoridades de reglamentación exigen pagos anuales.

## Análisis de costos

Una vez que las distintas categorías de costos y sus componentes se han definido y calculado para hacer una selección económica apropiada, es menester combinarlos convenientemente mediante un análisis económico. La serie cronológica de todos los costos futuros puede ser equivalente a un costo representativo, conocido como "valor neto actualizado" (VNA), de modo que si existe una serie de opciones, la más económica debe ser la que tenga el valor neto actualizado más bajo.

El VNA se obtiene actualizando todos los costos en una misma fecha, y aplicando la tasa de actualización apropiada a las series de costos anuales (flujos de caja anuales).

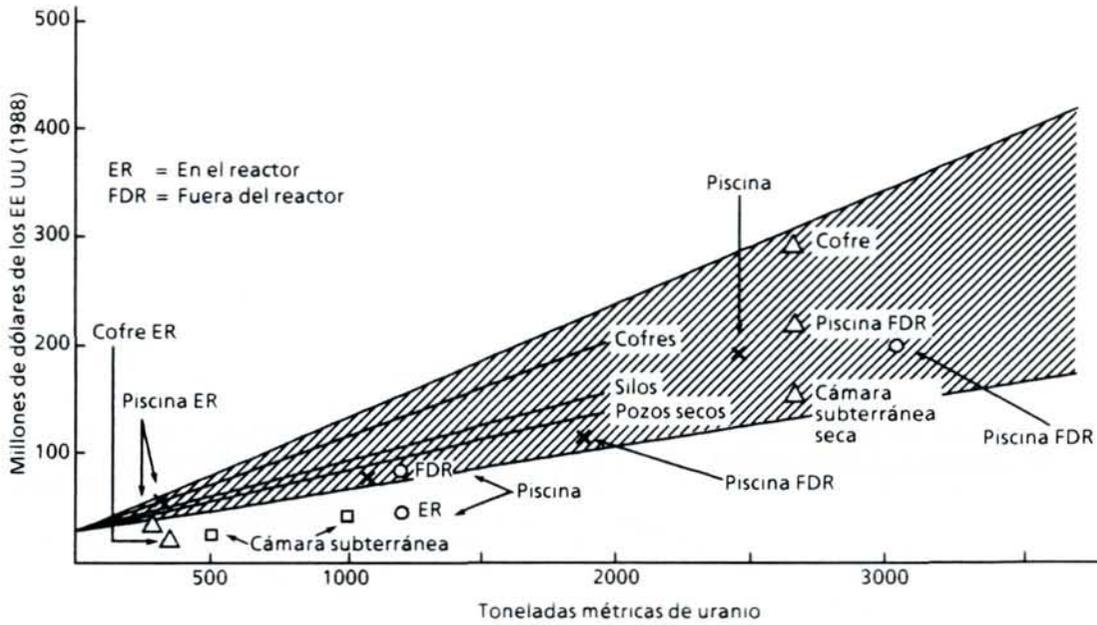
## Correlación de las distintas categorías de costos

Al analizar los aspectos económicos del almacenamiento del combustible gastado, es muy difícil sacar conclusiones o

El Sr. Rojas de Diego es funcionario de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y de Gestión de Desechos del OIEA.

\* El OIEA está preparando para su publicación un informe técnico, *Methodology on Economics of Spent Fuel Storage*, que contiene información más amplia que el breve análisis que se presenta en este artículo.

### Costos de inversión para el almacenamiento del combustible gastado en relación con la capacidad



hacer correlaciones a partir de los variadísimos casos que se estudian (el OIEA ha examinado más de 300 referencias), porque hay incertidumbres. En el análisis que aquí se examina brevemente, las categorías de costos más importantes se han comparado con la variable más significativa del almacenamiento del combustible gastado: su capacidad.

**Costos de inversión.** Los distintos costos totales de inversión se descontaron o actualizaron a valores de un año común, 1988, utilizando la misma tasa de actualización, siempre que fue posible, y se compararon con la capacidad de almacenamiento. Los costos de inversión se expresan en millones de dólares de los EE UU y la capacidad en toneladas métricas de uranio. A pesar de las grandes incertidumbres y diferencias que existen en los casos examinados, todos los costos de inversión actualizados quedan comprendidos dentro de una zona determinada. (Véase el gráfico de la parte superior de esta página.)

Esta zona está limitada por dos líneas rectas. El límite superior corresponde a los cofres metálicos y el inferior a las piscinas de almacenamiento en el reactor y los pozos secos. Aunque las dos líneas no tienen ningún significado económico específico, ambas se podrían asociar a los costos de inversión máximo y mínimo en relación con una capacidad de almacenamiento determinada.

**Costos de explotación.** En estos costos se suele incurrir después de la construcción y la puesta en servicio de la instalación. Los pagos abonados antes de almacenar el combustible por lo general son por concepto de la transferencia del combustible de la central nuclear a la instalación. Los pagos efectuados durante el almacenamiento del combustible corresponden a los componentes mencionados con anterioridad. Al final de la vida útil de la instalación de almacenamiento, es preciso realizar nuevos gastos de transferencia de combustible

para su manipulación final (reelaboración o almacenamiento definitivo).

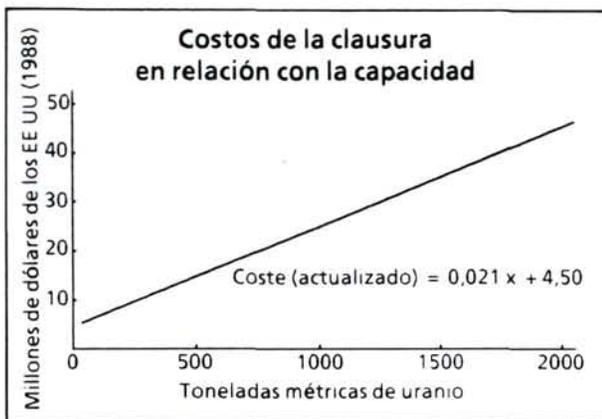
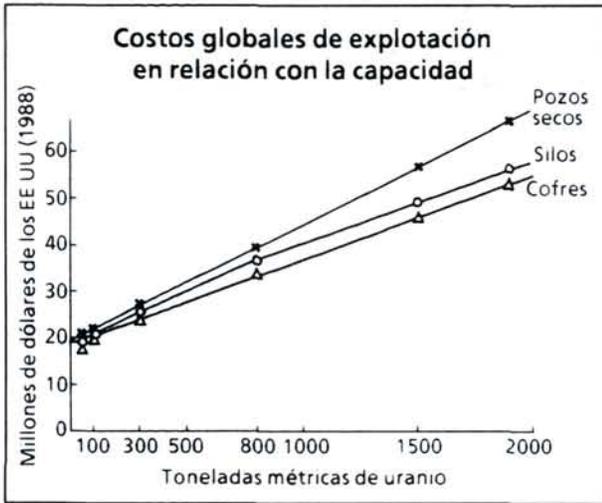
Después de estas transferencias finales del combustible, la instalación tiene que clausurarse y, en algunos casos, estos costos de la clausura se incluyen en el costo de explotación.

La capacidad de la instalación de almacenamiento es un factor muy importante en los costos de explotación, como decisiva es la opción de almacenamiento que se seleccione.

Se hizo una correlación de los costos de explotación de todos los casos estudiados con la capacidad. Estos costos son los costos anuales de explotación actualizados al año 1988 y sumados durante todos los años de la vida útil de la central para obtener los costos totales de explotación. Para calcular los costos específicos de explotación, es necesario dividirlos por la capacidad de almacenamiento, o lo que es mucho más conveniente, nivelar estos costos. (Véase el gráfico de la parte superior de la página 36.) Cuando se hace esto, los valores más altos corresponden a los pozos secos y los más bajos a los módulos de almacenamiento del tipo cofre.

**Costos de la clausura.** Esta categoría de costos se suele determinar al final de la vida útil de la instalación y puede variar según la capacidad de almacenamiento y el método de clausura: desmantelamiento inmediato, preservación o sepultamiento.

Los costos de clausura de una instalación, aunque pueden ser considerables, aumentan muy poco los costos globales actualizados cuando en los cálculos se usa la tasa de interés real, ya que suponen cantidades de dinero que se gastarán muchos años después de la puesta en marcha de la instalación. Sin embargo, conviene comparar estos costos sin realizar la actualización, pues varían con el tamaño de la instalación y siguen claramente una ecuación lineal. (Véase el gráfico en la parte inferior de la izquierda.)



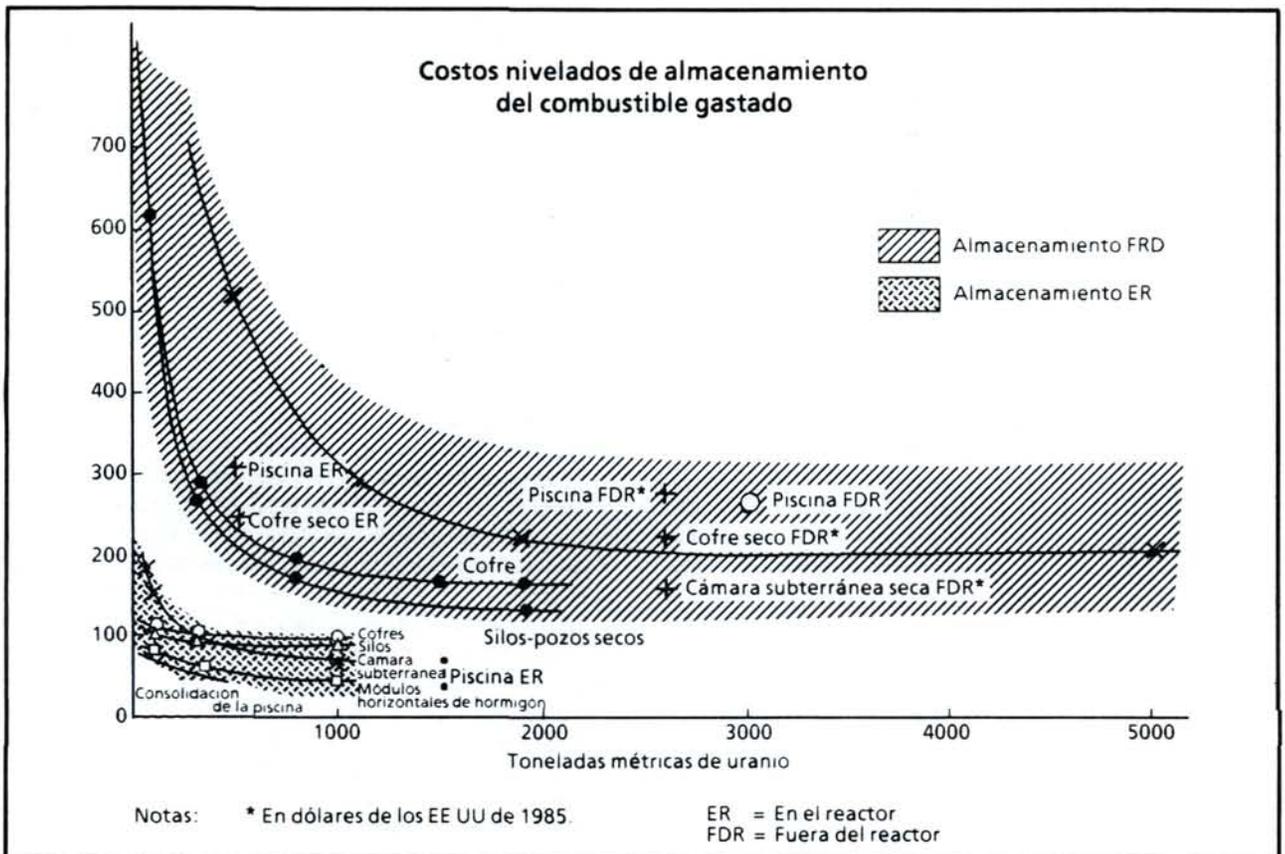
**Nivelación de costos**

Hasta ahora se ha hecho referencia a los costos y a su VNA. Cada vez que estos costos tengan que recuperarse con ingresos, lo que es válido en el caso del almacenamiento del combustible gastado, el VNA de los ingresos durante el período de recuperación debe ser igual al VNA de los costos.

Los ingresos pueden generarse de muchas maneras: mediante pagos adelantados, cargos anuales o pagos contra entrega. En cualquiera de estos métodos de pago, es preciso calcular el VNA de los ingresos e igualarlo con el de los costos. Entonces podrá definirse el costo unitario nivelado (CUN).

Respecto de las incertidumbres generales que afectan las estimaciones de las distintas categorías de costos, para lograr cierta viabilidad en la correlación del costo unitario nivelado, es importante señalar que: 1) el CUN debe expresarse, en todos los casos, en dinero del mismo año, en este caso 1988; 2) para una capacidad de almacenamiento determinada, las tasas de carga, expresadas en toneladas métricas de uranio anuales, deben ser muy similares entre sí; y 3) la tasa de actualización utilizada para calcular el CUN debe ser también la misma en todos los casos.

En el análisis que se presenta en este artículo, el CUN de los diferentes casos, registrado y procesado a partir de las numerosas referencias estudiadas, se correlacionó con la capacidad de almacenamiento. Se tuvieron en cuenta los métodos de almacenamiento en medio húmedo y en medio seco, así como algunas otras variables, como la tasa de actualización, la tasa de carga y la vida útil de la instalación. (Véase el gráfico inferior de la página 36.)



**Financiación**

Existen distintas posibilidades de financiar el método de almacenamiento seleccionado. En el método de financiación que se elija se deberán tener en cuenta todos los pagos que se tendrán que hacer durante los períodos de construcción, explotación y clausura de la instalación de almacenamiento, y también la vía que utilizará el propietario de la instalación para obtener los fondos.

En los distintos métodos de financiación se tienen en cuenta los diversos tipos de propiedad de una instalación de almacenamiento (por ejemplo, la compañía eléctrica sola o una entidad de servicios independiente). En el primer caso, la ampliación de la capacidad de almacenamiento puede financiarse en igual forma que la construcción y explotación de una central eléctrica, es decir, recuperando los costos con el precio que se cobra a los consumidores por el uso de la electricidad. La gestión de este fondo de recuperación de costos varía de un país a otro.

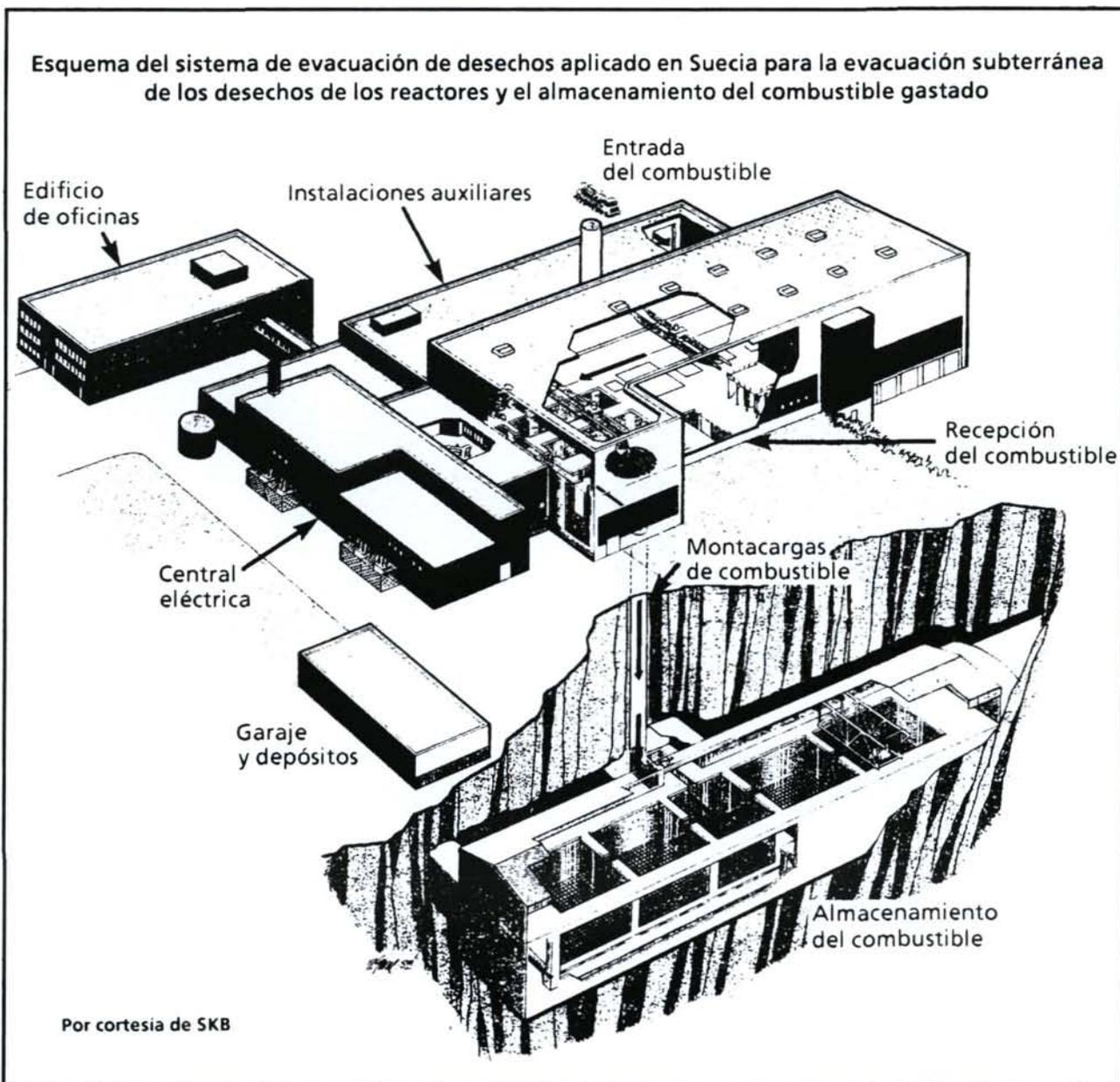
La situación cambia algo si es una entidad independiente la que posee y explota la instalación de almacenamiento. La entidad puede decidir que los pagos se hagan mediante obligación contractual, con inclusión de las cuotas o los pagos anticipados destinados a cubrir los costos fiscalizados por el Gobierno. Este último puede incluso disponer jurídicamente el establecimiento de un fondo especial para cubrir los costos de almacenamiento y los posteriores costos de la gestión final.

**Conclusiones**

De los conceptos que se han abordado en este artículo, podemos llegar a dos tipos de conclusiones, cada uno de los cuales podría ayudar al proceso de adopción de decisiones.

Las conclusiones generales son las siguientes:

- La selección de la opción de almacenamiento en el reactor (ER) o fuera del reactor (FDR) debe hacerse a base de con-



sideraciones estrictamente estratégicas, teniendo en cuenta el programa nucleoelectrico de cada país.

- Para capacidades inferiores a las 300 toneladas métricas de uranio, no conviene la opción FDR por su elevado costo, más de 300 dólares de los EE UU por kilogramo de uranio (en países con un programa nucleoelectrico limitado).

- Para capacidades superiores a las 1000 toneladas métricas de uranio, la opción ER podría no ser adecuada (en países con un programa nucleoelectrico importante).

- La opción ER no resulta tan costosa como la FDR. Sin embargo, hay que considerar también otras necesidades que entraña el almacenamiento del combustible gastado.

Las conclusiones concretas son las siguientes:

- La consolidación del combustible en las piscinas existentes (tras utilizar nuevos bastidores y almacenarlo en dos niveles) es la solución más económica de la opción ER, aunque tiene un límite de capacidad reducido (inferior a las 300 toneladas métricas de uranio). Es preciso tener presente que las piscinas de los reactores están concebidas para ayudar al funcionamiento del reactor y no para almacenar cantidades importantes de combustible gastado durante largos períodos.

- Con la opción FDR, las tecnologías de almacenamiento en medio húmedo resultan más caras que las soluciones del almacenamiento en medio seco.

- Las soluciones de almacenamiento en medio seco son de carácter modular y tienen repercusiones positivas en los costos de financiación.

**Manipulación de un cofre de combustible gastado en la sala de recepción de la instalación de almacenamiento de combustible gastado de Suecia. (Por cortesía de SKB-Clab)**

