



Monografías

Comité Asesor para la Información  
y Participación Pública

# OLP de las centrales nucleares



Impacto de la Operación  
a Largo Plazo (OLP) de las  
Centrales Nucleares sobre  
la Seguridad Nuclear y la  
Protección Radiológica

Impacto de la Operación a Largo Plazo (OLP)  
de las centrales Nucleares sobre la Seguridad Nuclear y la Protección Radiológica

# Impacto de la Operación a Largo Plazo (OLP) de las Centrales Nucleares sobre la Seguridad Nuclear y la Protección Radiológica

**Referencia:** MCA-03.21

**Publicado y distribuido por:**

Consejo de Seguridad Nuclear  
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11  
28040 Madrid  
www.csn.es  
peticiones@csn.es

**Diseño:** Sendín & Asociados

**Impresión:** Advantia, Comunicación Gráfica, S.A.

**Depósito Legal:** M-9699-2021

Impreso en papel FSC



**La presente publicación monográfica tiene por objeto proporcionar información divulgativa sobre el impacto que supone la entrada de una central nuclear en una fase de extensión de su vida de diseño original, también llamada Operación a Largo Plazo (OLP). La emisión de este documento responde a una recomendación formulada por el Comité Asesor para la Información y Participación Pública del Consejo de Seguridad Nuclear, que fue creado por el artículo 15 de la Ley 15/1980.**

## PRÓLOGO

En el documento, tras analizar con cierto detalle los aspectos normativos y regulatorios a nivel nacional e internacional, se presenta un resumen del estado actual de este asunto tanto en el marco español como en el del resto de países con centrales nucleares. A continuación se aborda de modo genérico el impacto que tiene esta opción sobre la seguridad nuclear y sobre la protección radiológica de la central, valorando su impacto frente a la situación existente durante la vida de diseño. Finalmente se desarrollan con más detalle dos aspectos que tienen especial relevancia en una situación de entrada en OLP: en primer lugar la generación y gestión de residuos radiactivos dentro de la instalación, incluyendo el combustible nuclear gastado, ya que como es obvio el volumen total de residuos aumenta con los años y, por último, se desarrollan con mayor detalle los aspectos de gestión de vida/envejecimiento, ya que el principal impacto de la ampliación de la vida de una central nuclear, como de cualquier otra instalación industrial, es el efecto del tiempo sobre las propiedades de los materiales y la fiabilidad de los equipos, y por ello cuando una central solicita a la administración esta alternativa, debe presentar un plan muy detallado para la gestión de esta problemática que, de acuerdo con los requisitos del CSN, debe estar basado en las mejores prácticas a nivel internacional.



7	<b>Preámbulo</b>
13	<b>Marco legal aplicable. Proceso de licenciamiento</b>
19	<b>La OLP de las centrales nucleares en el mundo y en España</b>
23	<b>Impacto de la OLP sobre la Seguridad Nuclear</b>
27	<b>Impacto de la OLP sobre la Protección Radiológica</b>
33	<b>Plan de gestión de residuos y del combustible gastado en OLP</b>
39	<b>Gestión del envejecimiento en centrales que solicitan entrar en OLP</b>
47	<b>Anexos:</b>
	Anexo I: ¿Qué es y cómo funciona una central nuclear?
	Anexo II: Susceptibilidad al envejecimiento de estructuras, sistemas y componentes de centrales nucleares
	Anexo III: Explicación detallada de la gestión del envejecimiento en centrales que solicitan entrar en OLP
71	<b>Siglas y Acrónimos</b>





PREÁMBULO



## LAS CENTRALES NUCLEARES SON INSTALACIONES INDUSTRIALES

Las centrales nucleares son instalaciones industriales diseñadas para producir energía eléctrica; en el anexo I se presenta una breve introducción a su funcionamiento. Como toda instalación industrial estas centrales presentan sus riesgos específicos. El objetivo de la Seguridad Nuclear y de la Protección Radiológica es el de mantener estos riesgos por debajo de unos límites que se puedan considerar socialmente aceptables. En esta monografía del Consejo de Seguridad Nuclear se aborda el impacto que tiene la entrada en la fase de Operación a Largo Plazo (OLP) de una central nuclear sobre la seguridad nuclear y la protección radiológica, con especial énfasis en los aspectos relacionados con la gestión de los residuos radiactivos y, sobre todo, con las metodologías de gestión del envejecimiento de las Estructuras, Sistemas y Componentes de las centrales, en las que, por este motivo, se profundiza en sus aspectos técnicos.

Es necesario indicar que la OLP no es más que una fase más de la vida y del proceso de licenciamiento de una central nuclear, la cual presenta una problemática muy específica que

se trata de aclarar en este documento. La vida de una central pasa por una primera fase de diseño, construcción y licenciamiento inicial, seguida de la operación comercial, primeramente dentro de su *vida de diseño*<sup>1</sup>, seguida de un posible periodo de *vida extendida*, al cual corresponde la fase de OLP, para finalizar con una fase final de cese definitivo de la operación comercial, la cual es seguida por el desmantelamiento de la instalación con el fin de recuperar el emplazamiento para otros usos futuros. El organismo regulador, en este caso el CSN, es el encargado del licenciamiento y supervisión de la central en todas estas fases.

En el momento del licenciamiento inicial de una central nuclear ya se establece el periodo de vida de diseño, para el cual se debe analizar y garantizar que los posibles fenómenos de envejecimiento no afectan a su operación segura. Esta garantía se logra por diversos métodos: por ejemplo, hay muchos componentes en una central para los que está previsto, del mismo modo que ocurre en cualquier otra instalación industrial, su eventual sustitución a medida que ello va siendo necesario, para lo cual se establece un plan de vigilancias y pruebas adecuado junto con un programa de mantenimiento que garantice el cumplimiento de su función. Sin embargo, existen algunos componentes y estructuras, como pueda ser la vasija del reactor, cuya sustitución no se considera realmente factible, sino que se di-

<sup>1</sup> La Instrucción del Consejo IS-22 incluye las siguientes definiciones:

- «Vida de diseño»: Relativa a una ESC, se refiere al tiempo de funcionamiento estimado o calculado en el diseño, durante el cual se espera que cumpla con su función, en los términos establecidos en las bases de licencia. En el caso de las centrales nucleares españolas los análisis que dan soporte a las evaluaciones de seguridad de la central se han realizado con la hipótesis de una vida de diseño de 40 años, siguiendo la práctica del país de origen de la tecnología.
- «Vida útil» (o «de servicio»): Relativa a una ESC, período de tiempo desde su puesta en funcionamiento hasta su retirada de servicio. La vida útil puede ser mayor que la vida de diseño original, por ejemplo cuando las condiciones reales de operación hayan sido menos severas que las supuestas en el diseño.

seña para garantizar que sus propiedades mecánicas y estructurales se van a mantener, al menos, a lo largo de la vida de diseño prevista para la instalación, y ello independientemente de que estos componentes estén sometidos a los necesarios procesos de inspección y pruebas a lo largo de su vida de servicio.

Por ello, cuando el titular de una autorización de explotación de una central nuclear (en adelante, el titular), decide solicitar una ampliación de la misma para un periodo que supere su vida de diseño, lo que habitualmente se denomina «operación a largo plazo» (OLP), el análisis que debe realizar para soportar técnicamente su propuesta debe tener como objetivo demostrar con alta fiabilidad que la operación segura de la central no se va a ver afectada por la superación de la vida de diseño inicialmente establecida.

Como más adelante se verá, la entrada de una central nuclear en la fase de OLP tiene un impacto limitado sobre la operación de una central nuclear, con dos aspectos que sí se pueden considerar muy relevantes:

- En primer lugar, el aumento de la cantidad total de residuos radiactivos generados (tanto de alta, media y baja) cuya cantidad final será aproximadamente lineal con el número de años que finalmente opera la instalación, aunque su gestión es prácticamente la misma antes y después de la entrada en dicha fase, todo lo cual se comenta con más detalle en el apartado 5 de esta monografía.
- En segundo lugar, y de especial relevancia para el objeto de esta monografía, la gestión del posible envejecimiento de estructuras

sistemas y componentes (ESC, ver anexo II), para la que se dispone internacionalmente de metodologías validadas de análisis y seguimiento, que se detallan a lo largo de esta monografía, y especialmente en el apartado 6.

La adecuada gestión del envejecimiento de ESC debe garantizar que la operación de la central una vez superada la vida de diseño e iniciada la fase de OLP no supone un incremento de los riesgos de la instalación, para ello es necesario que la fiabilidad de las mencionadas ESC se mantenga en los valores aceptados para su vida de diseño, lo que permite garantizar, razonablemente, sus funciones de seguridad supuestas en las Bases de Licencia de la instalación.

Es muy importante señalar, tal y como se detalla en dicho apartado, que los análisis específicos que un titular debe realizar como soporte técnico de una solicitud de ampliación de la vida de diseño de su central no parten en absoluto de cero, sino que ya bastante antes de alcanzarse este momento, y como requisito del CSN independientemente de que la central vaya o no a solicitar la OLP, los titulares deben contar con un «Plan de Gestión de Vida» (PGV), que consiste en un «Programa de acciones de gestión del envejecimiento que tiene como objetivo alcanzar la vida de diseño original de la instalación sin deterioro de la seguridad y manteniendo el cumplimiento de las bases de licencia vigentes». Por tanto, la entrada en la fase de OLP supone la continuación y ampliación de dicho programa.

En España, las solicitudes para operar más allá de la vida de diseño de una central se encua-

dran dentro de un proceso claramente regulado por normativa nacional: en particular el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR) y la Instrucción del Consejo IS-22 «sobre requisitos de seguridad para la gestión del envejecimiento y la operación a largo plazo de centrales nucleares».

De acuerdo con lo indicado en el RINR, el responsable último de conceder o denegar esta autorización es el ministerio correspondiente (a la fecha de edición de esta monografía, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico). Para ello, y una vez recibida la propuesta de un titular, el ministerio solicita al

CSN la emisión del preceptivo informe, en el que este organismo debe indicar si la propuesta del titular cumple las condiciones técnicas que garantizan la seguridad de la instalación y, si lo considera necesario, debe también incorporar los «límites y condiciones» adicionales que debería cumplir el titular para obtener la autorización. De acuerdo con la reglamentación española, este informe tiene carácter vinculante, y por ello el ministerio no puede modificar las condiciones establecidas en el informe del CSN, salvo si es para aumentar algún requisito o, incluso, para denegar la solicitud atendiendo a otras consideraciones de política energética o medioambiental.





# Marco legal aplicable a la OLP. Proceso de licenciamiento

### Normativa nacional aplicable a este proceso

Como ya se ha comentado anteriormente, el marco normativo para la solicitud y concesión de una autorización de explotación para operar más allá de la vida de diseño está recogido básicamente en el RINR y en la IS-22, tal y como se describe en detalle en el punto 2.



## MARCO LEGAL APLICABLE A LA OLP. PROCESO DE LICENCIAMIENTO

El artículo 5 del RINR (Renovación de las autorizaciones) indica que:

- 1. La renovación de las autorizaciones se tramitará mediante el mismo procedimiento por el que fueron concedidas, adjuntando la actualización de los documentos que la fundamentan o, en su caso, la documentación que para cada autorización se determine.*
- 2. En los casos de renovación de autorizaciones de instalaciones nucleares, el informe del Consejo de Seguridad Nuclear deberá ser remitido al Ministerio de Industria, Energía y Turismo, al menos, un mes antes de la fecha de caducidad de la autorización vigente. Este plazo no será de aplicación en el supuesto de renovación de la autorización de explotación tras el cese previsto en el apartado 1 del artículo 28.*

Y el artículo 6 (Informes preceptivos) recoge lo siguiente:

- 1. Los informes del Consejo de Seguridad Nuclear para la concesión de las autorizacio-*

*nes de instalaciones nucleares y radiactivas y para la fabricación de aparatos, equipos o accesorios generadores de radiaciones ionizantes serán preceptivos en todo caso y, además, vinculantes cuando tengan carácter negativo o denegatorio de una concesión y, asimismo, en lo relativo a las condiciones que establezcan, si fueran positivos.*

En cuanto al proceso a seguir para solicitar una Autorización de Explotación cuyo periodo de vigencia incluya la entrada en la OLP, y como ya se ha dicho, el titular debe seguir fundamentalmente lo indicado en la IS-22 rev.1 y en la guía de seguridad del Consejo GS-1.10 rev.2.

Asimismo, la IS-26 sobre requisitos básicos de seguridad nuclear aplicables a las instalaciones nucleares, establece en su artículo 7.19 que la instalación deberá disponer de un Plan de Gestión de Vida que identifique los mecanismos de degradación y envejecimiento de las estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad especificando sus posibles consecuencias, además de determinar su previsión de vida útil y las actividades necesarias para mantener a lo largo del tiempo la operabilidad y fiabilidad de los sistemas de seguridad de la central.

La Instrucción del Consejo IS-22 es la norma donde se establecen los criterios de seguridad para la gestión del envejecimiento, incluida la gestión en el caso de entrada en la fase de OLP, siendo esta instrucción de aplicación a todas las centrales nucleares españolas.

Los requisitos establecidos por la IS-22 son aplicables en todas las condiciones de opera-

ción de una central nuclear, que cubren desde el arranque inicial hasta el cese definitivo de la explotación, y por ello se definen requisitos comunes y específicos para cada una de las dos fases de la vida útil de una central:

- Periodo de vida de diseño de la instalación (40 años para las centrales nucleares españolas): corresponde al tiempo de operación de la central estimado o calculado en el diseño, durante el cual se espera que cumpla con su función en los términos establecidos por las bases de licencia.
- Periodo de operación a largo plazo: corresponde al tiempo de operación de la central más allá del periodo de vida de diseño.

En esta IS-22 en sus artículos cuarto y quinto respectivamente, se recogen los Criterios básicos para la gestión del envejecimiento de las Estructuras, Sistemas y Componentes (ESC) de las centrales nucleares durante el periodo de la vida de diseño y durante el periodo de operación a largo plazo, mientras que el artículo sexto detalla el contenido de los Informes de gestión del envejecimiento y documentación asociada, también para cada uno de estos dos periodos.

Dentro del periodo de vida de diseño, se requiere que las centrales nucleares desarrollen e implanten un Plan de Gestión de Vida (PGV) tal y como se ha indicado anteriormente, y ante el periodo de operación a largo plazo, la IS-22 requiere a las centrales nucleares (figura 1):

- El desarrollo del denominado Plan Integrado de Evaluación y Gestión del Envejecimiento (PIEGE), que resume la justificación técnica

de la gestión del envejecimiento frente al periodo de operación a largo plazo.

- El desarrollo e implantación de un Plan de Gestión de Vida a Largo Plazo (PGV-LP) que, soportado en las conclusiones de PIEGE, corresponde al programa de acciones de gestión del envejecimiento durante el periodo de operación a largo plazo.

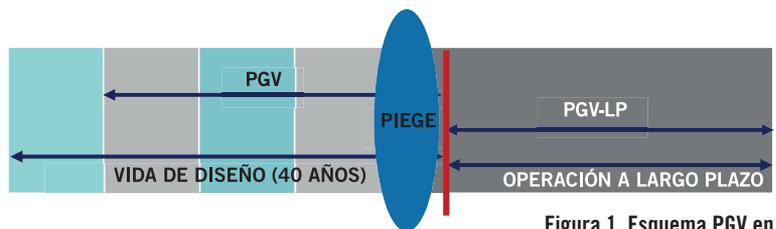


Figura 1. Esquema PGV en diseño y OLP

Asimismo, las centrales nucleares españolas, de acuerdo a lo establecido en la IS-26, y en los requisitos de su autorización de explotación, están sujetas cada diez años a una Revisión Periódica de Seguridad (RPS), cuyo alcance, contenido, documentación y plazos de presentación quedan establecidos en la ya mencionada Guía de Seguridad del CSN GS-1.10. Esta guía contiene información relevante para orientar al titular en el proceso de elaboración de la documentación soporte de dicha revisión (RPS), incluyendo aquella específica para el caso en que, a lo largo del siguiente periodo de diez años asociado a la RPS, se produjera la superación de la vida de diseño de la instalación, situación que se presenta en todas las RPS que están abordándose actualmente en España.

Para esta situación, en el apartado 6 de la GS-1.10 se indican las condiciones adicionales aplicables a las Revisiones Periódicas de la Seguridad previas a la entrada de la central en la

OLP, que consisten básicamente en la presentación de los siguientes documentos:

- Plan Integrado de Evaluación y Gestión del Envejecimiento (PIEGE), que debe contener los correspondientes Estudios de Gestión del Envejecimiento (AyS, RGE, PGE) y los Análisis de Envejecimiento en Función del Tiempo (AEFT).



- Propuesta de suplemento del Estudio de Seguridad que debe incluir los estudios y análisis que justifican la operación a largo plazo de la central.

- Propuesta de revisión de las Especificaciones

Técnicas de Funcionamiento (ETF) que debe incluir los cambios necesarios para mantener las condiciones seguras de operación durante la operación a largo plazo de la central.

- Estudio del impacto radiológico asociado a la operación a largo plazo de la central.

- Propuesta de revisión del Plan de gestión de residuos radiactivos y del combustible gastado, correspondiente a la operación a largo plazo de la central.

En la figura 2, se muestra un esquema que detalla la composición del PIEGE (PGV y AEFT) y el resto de documentos requeridos en una solicitud de Renovación de la Autorización de Operación más allá de la vida original de diseño.

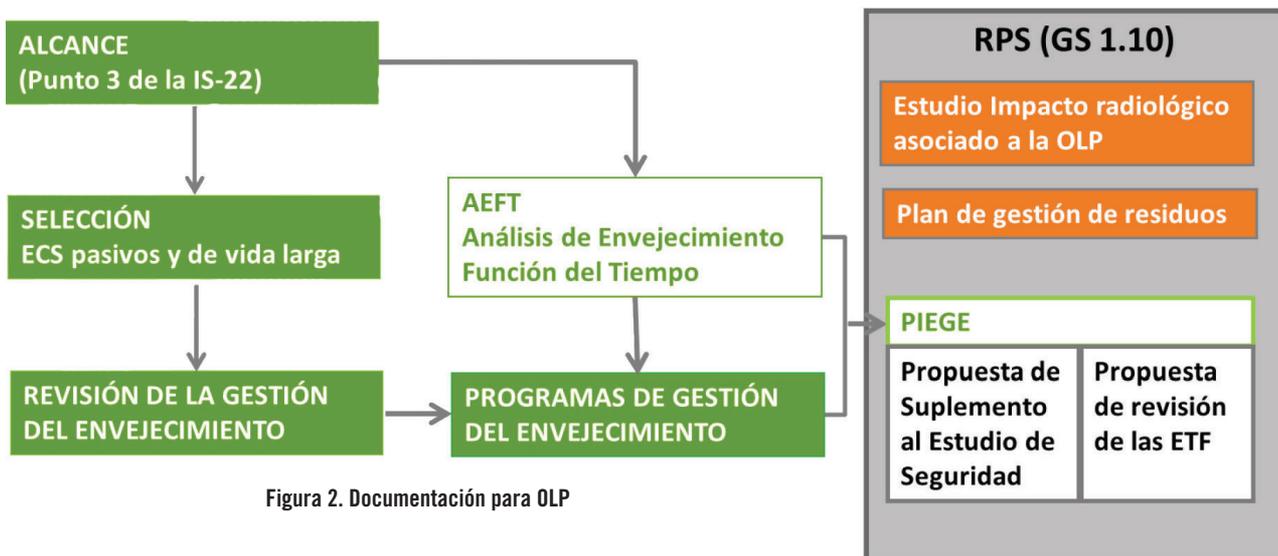


Figura 2. Documentación para OLP

### Normativa internacional aplicable a este proceso

La metodología empleada para el desarrollo del Plan de Gestión de Vida de las centrales nucleares españolas, tal y como se menciona en el prólogo de la IS-22, está basada en gran medida en la reglamentación estadounidense contenida en el Código Federal 10CFR54 «*Requirements for Renewal of Operating Licenses for Nuclear Power Plants*», que entró en vigor en 1991 y posteriormente fue revisado en junio de 1995; la metodología también se apoya en otras referencias que recogen las experiencias acumuladas en dicho país, según se muestra a continuación:

- Referencias del Organismo Regulador de EE.UU.
  - **Regulatory Guide 1.188**, Standard Format and Content for Applications to Renew Nuclear Power Plant Operating Licenses,
  - **NUREG-1800**, Standard Review Plant for Review of License Renewal Applications For Nuclear Power Plants,
  - **NUREG-1801**, Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report.
- Referencias de la Industria americana
  - **NEI 95-10**, Industry Guideline for Implementing the Requirements of 10 CFR Part 54 – The License Renewal Rule.
- **IAEA Specific Safety Guide SSG-48**, Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants.
- **IAEA Safety Reports Series N° 82**, Ageing Management for Nuclear Power Plants: International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL), 2015.
- **IAEA Safety Guide NS-G-2.12**, Ageing Management for Nuclear Power Plants Safety Guide. Febrero 2009.
- **IAEA Services Series N° 17**, SALTO Guidelines. Guidelines for peer review of long term operation and ageing management of nuclear power plants. Diciembre 2008.
- **IAEA-EBP-SALTO**, Safety aspects of long term operation of water moderated reactors. Recommendations on the scope and content of programmes for safe long term operation. Julio 2007.
- **IAEA Safety Report Series N° 57**, Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants. Noviembre 2008.

Además de estas referencias, existen otras relacionadas con la gestión del envejecimiento de las centrales nucleares desarrolladas por la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA), agencia de la ONU, entre las que se destacan las siguientes:

Por último, cabe también reseñar en este apartado los denominados «niveles de referencia» acordados por la asociación de reguladores nucleares WENRA (*Western European Nuclear Regulators Association*), con objeto de armonizar la reglamentación de los diferentes países europeos, entre los que se encuentran los aplicables a la gestión del envejecimiento (Issue I, *WENRA Safety Reference Levels*), los cuales han sido tenidos en cuenta en el desarrollo de la regulación aplicable en España.



A large, stylized white number '2' is positioned on the right side of the page, set against a solid green background. The number is thick and has rounded corners, with a white fill and a green outline. It is partially cut off by the right edge of the frame.

# La OLP de las centrales nucleares en el mundo y en España

LA OLP DE LAS CENTRALES NUCLEARES EN EL MUNDO Y EN ESPAÑA

**Situación actual en el mundo**

Sin ánimo de ser exhaustivos, cabe señalar que la OLP constituye un debate global que se da en casi todos los países en los que hay centrales nucleares (31 en total). Así, de los aproximadamente 443 reactores actualmente en operación en el mundo, cerca de 150 que están situados en 13 países, han logrado permisos para operar más allá de la vida de diseño considerada originalmente que, en la mayoría de los casos, era 40 años. En el siguiente gráfico se muestra la distribución del número de reactores actuales en función de sus años de operación, en el que se observa un porcentaje muy elevado de reactores cerca del final de su vida de diseño y otros muchos en operación más allá de ésta.



**Figura 3. Número de reactores en operación**  
(fuente: OIEA)

El periodo por el que se extiende la vida útil de una central nuclear varía de país en país, contemplándose en muchos de ellos un plazo adi-

cional de 20 años, como es el caso de Estados Unidos, que es el país de referencia del diseño de la mayoría de las centrales nucleares españolas, donde 94 reactores están actualmente operando, de los que 82 tienen autorizada una renovación de licencia para una operación hasta los 60 años y en cuatro casos disponen de una segunda autorización de la extensión de la licencia que llega a los 80 años en total.



**Figura 4. Número de reactores en operación en USA**  
(fuente: NRC)

**Situación actual en España**

En cuanto a la situación en España, de acuerdo al Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), en marzo de 2019, la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) y los propietarios de las centrales nucleares firmaron un Protocolo de intenciones en el que se establecía un calendario de cese ordenado de explotación de las centrales nucleares actualmente en funcionamiento. Como consecuencia de ello, los titulares de las centrales están presentando las solicitudes de acuerdo con los plazos contemplados en el mencionado protocolo.

En la tabla 1 se resume la fecha en que cada uno de los reactores cumple los 40 años de vida de diseño basada en su primer acoplamiento a la red y la fecha prevista establecida en el mencionado protocolo para su cese definitivo de explotación.

Reactor	Fecha final «vida de diseño»	Fecha prevista fin de explotación
Almaraz I	1 de mayo de 2021	noviembre de 2027
Almaraz II	8 de octubre de 2023	octubre de 2028
Ascó I	29 de agosto de 2023	octubre de 2030
Ascó II	23 de octubre de 2025	septiembre de 2032
Cofrentes	14 de octubre de 2024	noviembre de 2030
Vandellòs II	12 de diciembre de 2027	febrero 2035
Trillo	23 de mayo de 2028	mayo 2035

**Tabla 1. Final de la vida de diseño y fecha prevista para el cese definitivo de explotación**

A fecha de marzo 2021 la situación actual en España es que han solicitado y obtenido ya la autorización ministerial las centrales nucleares de Almaraz (unidades I y II), Vandellòs II y Cofrentes, mientras que la central de Ascó lo

ha solicitado, y el CSN está actualmente realizando la evaluación correspondiente. La central de Trillo deberá enviar su propuesta en el último trimestre del año 2021.



A large, stylized white number '3' is positioned on the right side of the page, set against a solid green background. The number is composed of three rounded, overlapping shapes that create a sense of depth and movement.

# Impacto de la OLP sobre la Seguridad Nuclear



## IMPACTO DE LA OLP SOBRE LA SEGURIDAD NUCLEAR

Como se ha indicado anteriormente, cuanto más cerca del final de su vida de diseño más problemas de envejecimiento pueden producirse en una instalación industrial. De hecho, la experiencia operativa demuestra que en los últimos años los titulares de las centrales nucleares españolas están detectando más problemas derivados del envejecimiento de componentes, tanto activos como pasivos, así como de otro tipo de problemas como la obsolescencia de equipos.

Por tanto, la posible entrada en una fase de OLP podría tener un impacto sobre la seguridad nuclear que debe valorarse y acometerse con tiempo suficiente para que se disponga en la central de programas robustos y validados de gestión del envejecimiento y que estén ya totalmente implantados, así como de planes de reposición o de renovación tecnológica de equipos necesarios para reducir dicho impacto.

Todo ello con el objetivo de garantizar el mantenimiento de un nivel de seguridad equivalente al menos al que permitió el licenciamiento inicial de la central. Para ello se debe verificar el continuo cumplimiento de las denominadas Bases de Licencia de la instalación y, por tanto, de las funciones de seguridad asignadas a las ESC a lo largo de toda la vida de operación de la planta.

En relación con los Programas de Gestión del Envejecimiento implantados durante la vida

de diseño, es necesario medir su efectividad y tener implantadas aquellas acciones específicamente requeridas antes de la entrada en la fase de OLP, como ejemplos se pueden citar: la vigilancia del estado de los componentes «internos» de la vasija del reactor, o de los tanques y tuberías enterradas, o también las inspecciones de tubería pequeña y la vigilancia de cables eléctricos.

Así mismo, existen otros programas específicos en caso de OLP, como es el denominado de «inspecciones únicas», cuyo objetivo es verificar la efectividad de otros programas diseñados para prevenir los efectos del envejecimiento (ej. control químico de agua y de aceites), confirmando que durante la fase de OLP el efecto negativo del envejecimiento no ocurrirá o bien, que se desarrollará tan lentamente que la función propia del componente o la estructura no quedará afectada durante esta fase.

Otro aspecto importante que debe establecerse con suficiente antelación a la operación a largo plazo son los procesos de «monitorización» para determinar los márgenes entre lo postulado en el diseño y las condiciones reales de planta con el fin de garantizar el cumplimiento con las bases de licencia durante el nuevo periodo. Como ejemplos, pueden citarse la monitorización de transitorios reales ocurridos en la planta para cuantificar el «consumo de fatiga» de los materiales, o la monitorización de las condiciones ambientales (principalmente temperatura y radiación) de salas con equipos importantes para la seguridad para verificar el mantenimiento de su calificación ambiental.

Adicionalmente a los aspectos asociados al envejecimiento, que debido a su importancia capital en este proceso se desarrollan ampliamente en el apartado 6 y en el anexo III de este documento, en este apartado se recogen cuáles son los aspectos de Seguridad Nuclear que se deben considerar para la posible entrada en la fase de OLP, ya que podrían verse afectados por ésta.

Básicamente el aspecto primero es que se debe garantizar que tras la entrada en OLP, y por medio de un adecuado programa de gestión del envejecimiento, se mantienen las bases de diseño y las bases de licencia de la instalación. Esto es, que los transitorios y accidentes que se postulan son los mismos que antes de entrar en esta fase, que su posibilidad de ocurrencia es similar y que las consecuencias previstas de los mismos, supuesto que se produjeran, no se alteran por este hecho.

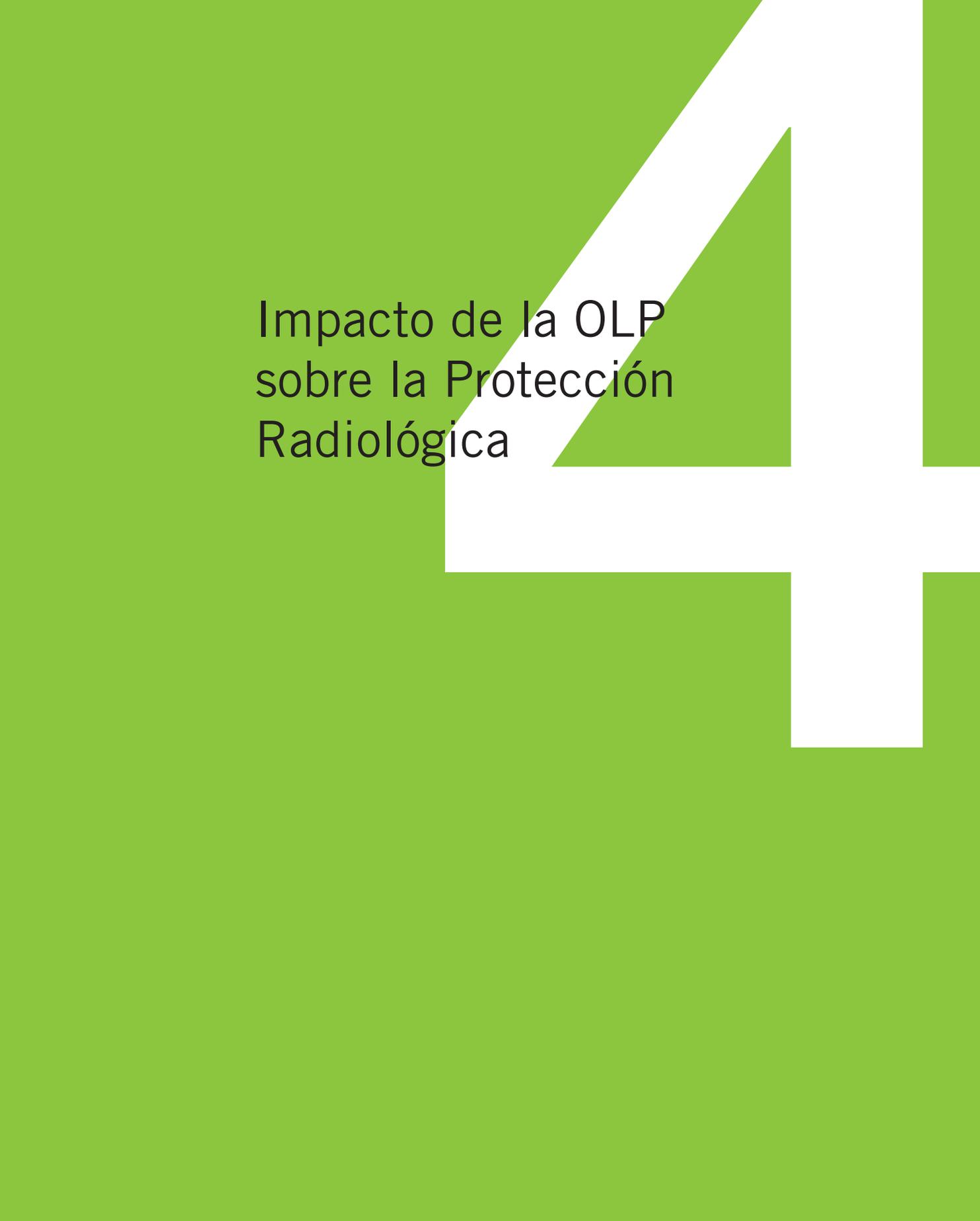
La manera de documentar la respuesta a este requisito es mediante la correspondiente propuesta de revisión del Estudio de Seguridad (ES) de la central, y de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF), en donde se

analice y se garantice el mantenimiento de las condiciones seguras durante la OLP. Esta propuesta debe llevar asociada la reevaluación de los estudios y análisis para el nuevo periodo de operación más allá de la vida de diseño original.

De acuerdo con lo requerido por la antes mencionada IS-22, en la solicitud del titular se debe incluir una propuesta de suplemento al ES, que consiste básicamente en enumerar y describir los programas de gestión del envejecimiento y de los análisis de envejecimiento en función del tiempo que serán incorporadas tras la autorización de explotación a largo plazo.

En cuanto a las ETF, la solicitud debe incluir los cambios o adiciones que sean necesarias para tratar de garantizar las condiciones seguras de operación en dicho período. Típicamente, el cambio más reseñable es el aplicable a las denominadas curvas P-T del reactor, las cuales requieren la operación del mismo en unas condiciones tales que no afecten a sus propiedades mecánicas, específicamente ante el problema de la fragilización del acero debido a la irradiación neutrónica.





# Impacto de la OLP sobre la Protección Radiológica



## IMPACTO DE LA OLP SOBRE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

En este apartado se analizan cuáles son los aspectos de Protección Radiológica que, complementariamente a los de Seguridad Nuclear y envejecimiento de estructuras y componentes que se han comentado en los dos apartados anteriores, se deben considerar para la OLP ya que podrían verse afectados por ésta.

De igual modo que en el apartado 2, se incluye en este apartado una referencia a la propuesta de actualización del Estudio del Impacto Radiológico (EIR) y el Plan de Gestión de Residuos Radiactivos (PGRR) que se pueden ver afectados por la OLP, lo cual corresponde al punto 6 de la GS-1.10 rev.2.

La explotación de las centrales nucleares tiene un impacto radiológico sobre las personas y sobre el medio ambiente que se debe fundamentalmente a la descarga de radionucleidos a través de los efluentes líquidos y gaseosos y de la gestión de materiales residuales. Este impacto se cuantifica en términos de dosis que reciben, o pueden recibir, las personas expuestas a la radiación que emiten los radionucleidos generados en la central.

El impacto radiológico de la explotación de las centrales nucleares, es en gran medida independiente del tiempo de operación. La implantación de buenas prácticas de protección radiológica es, en general, suficiente para cumplir la normativa sobre protección radio-

lógica, y el cumplimiento de los requisitos reguladores de protección radiológica es objeto de una atención permanente por el CSN a lo largo de la vida de la central, a través de sus programas de:

- Control de Efluentes.
- Vigilancia Radiológica ambiental.
- Control de la gestión de los residuos radiactivos.

Así mismo se considera que las Revisiones Periódicas de Seguridad (RPS), en cuyos factores de seguridad se contempla el análisis de esos tres programas en el periodo de los diez últimos años, son una vía adecuada para revisar los aspectos de la explotación de la central que contribuyen al impacto radiológico y, en consecuencia, a la protección de los trabajadores y el público.

Sin embargo, existen otros aspectos que por su naturaleza acumulativa podrían incidir directamente en el incremento del impacto radiológico y que deben ser objeto de especial atención en la operación a largo plazo de las centrales. En ese sentido, para justificar la operación a largo plazo de las centrales, deberá realizarse un análisis de la información que tenga en cuenta la previsión de emisión de efluentes al medio ambiente y la evolución de determinados aspectos tales como: cambios en censo y hábitos de la población, evolución de datos agropecuarios, existencia de estudios hidrogeológicos más recientes, cambios en la normativa de evaluación de dosis o actualización de datos meteorológicos para abarcar el nuevo período de operación.

Por otra parte, se deberá demostrar que se dispone de capacidad para la gestión segura y optimizada de los residuos radiactivos generados en las operaciones requeridas para el nuevo período de explotación.

Por ello, como condición adicional aplicable a las RPS previas a la operación a largo plazo de la central, para demostrar la operación segura de la central en el período de operación a largo plazo, se requiere la presentación de diversa documentación entre la que se incluye:

- Estudio del impacto radiológico asociado a la operación a largo plazo de la central.
- Propuesta de revisión del Plan de gestión de residuos y del combustible gastado, correspondiente a la operación a largo plazo de la central.

### **Estudio de impacto radiológico asociado a la operación a largo plazo**

El Estudio de Impacto Radiológico (EIR) asociado a la operación a largo plazo tiene por objeto estimar el impacto radiológico asociado a la operación en condiciones normales de la central durante la operación a largo plazo, y se concreta en el cálculo de las dosis que puede recibir el individuo del público más expuesto y el conjunto de la población residente en el radio de 30 kilómetros de la central.

Los parámetros necesarios para realizar los cálculos provienen por una parte de los datos asociados a la operación de la central (vías de liberación al exterior, actividad vertida por las distintas vías de efluentes radiactivos líquidos y gaseosos, tiempos de emisión, etc.); y por otra

parte, de los datos del entorno de la central que influyen en las vías de exposición de la población (usos de tierra y agua, distribución de población, tasas de consumo, variables meteorológicas, etc.). En ambos casos, se analizan los aspectos de la central o del entorno que son susceptibles de cambiar a lo largo del periodo del estudio frente a los que previsiblemente no van a cambiar.

Entre los aspectos no afectados por cambios que pueden influir en el impacto radiológico figuran: ubicación, descripción geográfica y topográfica del emplazamiento; características de la central; climatología de la zona; geología y sismología regionales; hidrología; dilución en el medio acuático y hábitos de la población.

Los aspectos con repercusión en el impacto radiológico durante la operación normal de la central que pueden verse afectados por cambios previsibles durante los años de la operación a largo plazo son: demografía; meteorología y difusión atmosférica; control de efluentes radiactivos; descargas líquidas y gaseosas; usos de la tierra, del agua, producciones agropecuarias, actividades pesqueras y recreativas.

El programa de vigilancia radiológica ambiental (PVRA), desarrollado en el entorno de todas las instalaciones, garantiza la actualización de varios de estos aspectos ya que para asegurar que el PVRA se adecúa a los cambios que se puedan producir en la reglamentación se requiere la revisión del censo de los usos de la tierra y el agua cada tres años. Pero esta revisión del censo es más limitada, se circunscribe a la zona más próxima, en el entorno de 5 km de la central, mientras que para la OLP

se requiere una actualización más amplia, se extiende hasta los 30 km, y se hacen estimaciones de su evolución a lo largo de todo el periodo de la OLP.

La estimación de las descargas de efluentes radiactivos líquidos y gaseosos durante la OLP parte de la recopilación de la información histórica de los vertidos radiactivos debidos a la operación de la central y en su determinación se tienen en cuenta aspectos relativos a: Vías de emisión existentes en la actualidad; caudales, tiempos de emisión y actividades vertidas en los últimos años por las distintas vías; representatividad de los distintos programas de muestreo y análisis aplicados para el control de los efluentes desde el comienzo de operación de la planta; incidentes ocurridos; modificaciones de diseño del sistema de tratamiento de efluentes radiactivos implantadas, etc.

Los fenómenos atmosféricos contribuyen a la dilución de los efluentes gaseosos. El análisis de la meteorología y difusión atmosférica permite determinar la concentración de radioisótopos en las vías de exposición en aire por exposición a gases nobles, inhalación de yodos y partículas radiactivas, así como por la vía de exposición al terreno y consumo de productos vegetales y animales debido a la incorporación a la cadena trófica de las sustancias radiactivas liberadas. Los coeficientes de difusión y deposición atmosférica dependen de la meteorología y de la distancia del punto emisor al punto de cálculo de dosis. Los factores de difusión y deposición atmosférica utilizados en el EIR provienen de los datos meteorológicos registrados en el emplazamiento y corresponden a un periodo

representativo de las condiciones meteorológicas que se pudieran dar durante la operación a largo plazo.

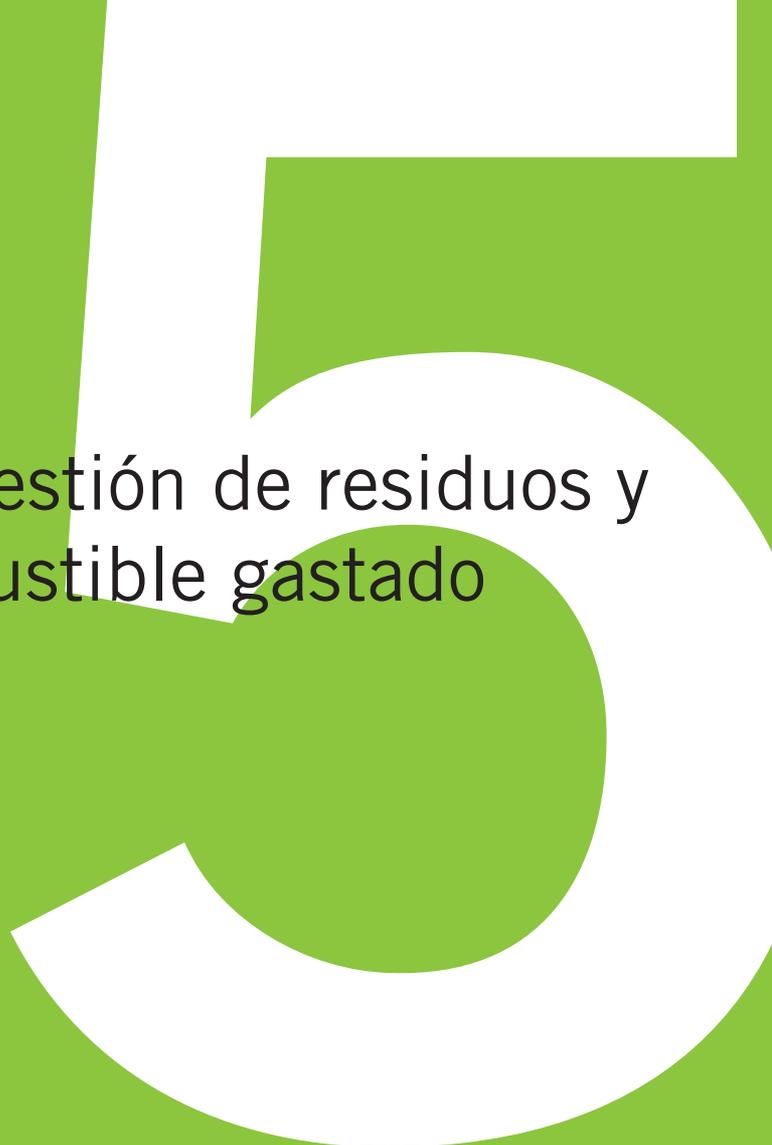
Para la determinación del cálculo de dosis es importante considerar las vías de exposición del público a las emisiones de efluentes de la central, localizando los posibles caminos de incorporación de los radioisótopos en el entorno. Una parte importante de estas vías está relacionada con los usos que se hace de los terrenos circundantes por lo que en el EIR se revisan los datos históricos relativos a las producciones agrícolas y ganaderas así como las actividades relativas al aprovechamiento de los recursos hídricos en el entorno de la central. Estos datos se analizan estadísticamente para estimar los valores futuros correspondientes al periodo de operación a largo plazo que se utilizaran en el cálculo de dosis al conjunto de la población.

El análisis demográfico tiene por objeto determinar la evolución demográfica esperada de la población que residirá en el entorno de la central dentro del radio de 30 kilómetros en el periodo de análisis de la operación a largo plazo. Se realizan estimaciones sobre el tamaño de la población, su distribución por municipios y su desagregación por grupos de edad. Además de la población habitual también se analiza la población estacional o transeúnte, formada por visitantes esporádicos y por personas con segundas residencias en la zona. La población total a considerar vendrá dada por la proyección de la población fija más las posibles variaciones en la población transeúnte.

En el EIR se considera que el individuo más expuesto es aquél que por su residencia habitual y hábitos de consumo y utilización del entorno puede recibir las dosis máximas. Para el cálculo de dosis al individuo crítico se utilizan los consumos máximos correspondientes a los grupos de edad: Infantes (0-1 años), niños (2-10 años) y adultos (más de 10 años) así como el tiempo de residencia máximo. El individuo más expuesto pertenecerá a uno de estos grupos de edad.

El cálculo de las dosis para el conjunto de la población residente en el radio de 30 kilómetros de la central se basa en la división de la zona en trapecios circulares, en cada uno de los cuales se calcula la dosis en función de la población y de las producciones agrícolas y ganaderas. A la dosis resultante se debe sumar la debida a la ingestión de agua potable, consumo de peces y actividades recreativas que pudieran verse afectadas por los efluentes radiactivos líquidos.



A large, stylized number '5' is the central graphic element. It is white with a thick green outline and is set against a solid green background. The number is positioned on the right side of the page, with its top and right edges extending towards the top and right corners.

# Plan de gestión de residuos y del combustible gastado en la OLP

### 5.1. RESIDUOS DE ALTA ACTIVIDAD (COMBUSTIBLE GASTADO)

## PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS Y DEL COMBUSTIBLE GASTADO EN LA OLP

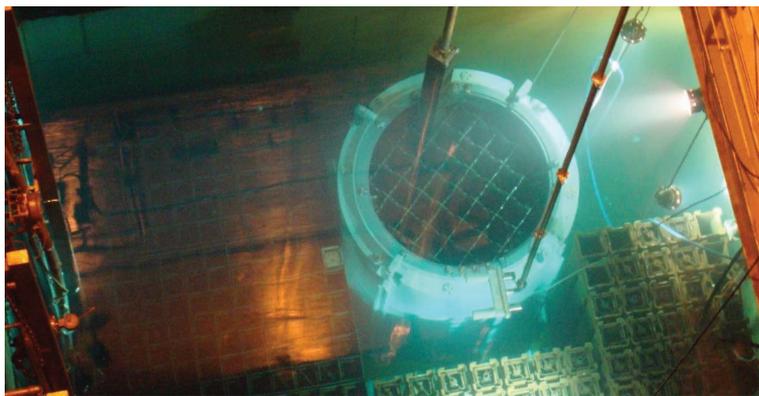
Las centrales nucleares producen durante su operación una cantidad importante de residuos de alta actividad, fundamentalmente los elementos de combustible nuclear ya quemados en el reactor nuclear.

La gestión de combustible gastado en la operación a largo plazo de las centrales se centra en el análisis de la capacidad, el estado y el funcionamiento de las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado. En función de dicho análisis se debe establecer una estrategia de gestión que permita el almacenamiento seguro del combustible que se genere tanto a lo largo de la vida de diseño de la central como en la operación extendida (OLP).

Como ya se ha mencionado anteriormente, la entrada de una central nuclear en la fase de OLP implica la necesidad de garantizar la capacidad de los sistemas de almacenamiento al incrementarse el número de ciclos de operación y, por tanto, el número de elementos de combustible gastado a almacenar.

El almacenamiento del combustible gastado se realiza, mayoritariamente, en las piscinas de las centrales nucleares (almacenamiento en húmedo). Dichas piscinas, tanto las estructuras que lo componen como los componentes activos necesarios para el cumplimiento de sus funciones de seguridad, en especial la extracción del calor residual, están sometidas a los programas de gestión de vida expuestos a continuación en el apartado 6 Gestión del envejecimiento en centrales que solicitan entrar en OLP. También se realizan actividades de control y vigilancia de la calidad química del agua de la piscina para preservar el estado físico del combustible durante la operación de la planta.

A medida que las piscinas se han saturado, las centrales han transferido el combustible a instalaciones de almacenamiento en seco, en los denominados Almacenes Temporales Individualizados (ATI). La seguridad de esta modalidad de almacenamiento se garantiza por el diseño, mediante componentes pasivos, de los contenedores de almacenamiento y transporte, que están sometidos a un estricto proceso de evaluación y licenciamiento por parte del CSN, al igual que el propio ATI y la losa donde se ubican los contenedores.



**Figura 5.**  
**Transferencia de combustible gastado al contenedor en la piscina de almacenamiento**

En la actualidad, en ausencia en España de una instalación de almacenamiento centrali-

zado, la estrategia de gestión de combustible de las centrales para la OLP se basa fundamentalmente en tres acciones: el aumento de la capacidad útil de las piscinas de las centrales, la transferencia del combustible a los ATI mediante contenedores de almacenamiento o doble propósito, y la ampliación de los ATI que estén próximos a saturación (ya sea mediante una redensificación del ATI sin ampliar el espacio físico que ocupa, o mediante la construcción de nuevas losas de almacenamiento).

Esta estrategia de almacenamiento en seco está acompañada necesariamente de una serie de actividades. Una de las más relevantes es el conocimiento del estado físico del combustible gastado para realizar una adecuada caracterización, clasificación, manipulación y acondicionamiento. Por esta razón, los programas de inspección de combustible gastado de los titulares cobran una gran relevancia a la hora de detectar y solucionar potenciales defectos y garantizar la seguridad de la gestión en seco, al igual que los programas de investigación y desarrollo que se están llevando a cabo para avanzar en el conocimiento de aspectos como la degradación de las propiedades del combustible y de los materiales almacenados durante largos periodos de tiempo. Por otro lado, las operaciones llevadas a cabo desde la extracción del combustible de la piscina hasta su almacenamiento dentro del contenedor en el ATI se realizan bajo procedimientos específicos y son objeto de realimentación continua de la experiencia operativa interna y externa relacionada. Todos estos aspectos se valoran en la Revisión Periódica de Seguridad, de acuerdo con la Guía de Seguridad GS-1.10 rev.2.



**Figura 6.**  
**Almacén Temporal Individualizado (ATI)**

Adicionalmente, el CSN supervisa periódicamente la implantación de las estrategias de almacenamiento del combustible gastado en las centrales nucleares dentro del Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC) siguiendo las directrices del procedimiento interno PT.IV.227 «inspección de las actividades de gestión del combustible gastado y residuos de alta actividad». También se mantienen reuniones regulares sectoriales para realizar el seguimiento de la estrategia conjunta de gestión de combustible gastado para vigilar la evolución de la capacidad de almacenamiento de forma que exista una planificación adecuada para garantizar que la operación a largo plazo no va a impactar negativamente en la seguridad nuclear.

## 5.2. RESIDUOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD (RBMA)

Durante la operación a largo plazo (OLP) de las centrales nucleares españolas, la seguridad y protección radiológica en la gestión de los residuos radiactivos RBMA que se generen sigue respondiendo a los principios establecidos en la normativa, reflejándose su aplicación en el documento oficial de explotación Plan de Gestión de Residuos Radiactivos y Combustible Gastado.

Como se ha indicado en el apartado 1, antes de la OLP los titulares de las centrales nucleares deben presentar junto a la RPS y otros documentos, una propuesta del Plan de Gestión de Residuos Radiactivos y Combustible Gastado (PGRRyCG) para la OLP.

El CSN establece en su Guía de Seguridad 9.3 los criterios y las bases técnicas para la elaboración del documento PGRRyCG por los titulares de las centrales nucleares, que seguirá siendo durante la OLP el documento de referencia para la gestión de los RBMA en estas instalaciones.

El objetivo del Plan es recoger los criterios y métodos para la gestión segura y optimizada de los residuos radiactivos, considerando los avances de la normativa y de la tecnología, y teniendo en cuenta aspectos tales como: el origen y características, la situación en cada momento en cuanto a las cantidades generadas, la gestión implantada, la posible transferencia de los residuos a otras etapas de gestión posterior atendiendo a las interdependencias entre ellas y el estudio de las alternativas de gestión

y las posibles mejoras en las vías ya implantadas, previa justificación de su idoneidad. El PGRRyCG contiene por lo tanto la información necesaria para permitir el análisis de la gestión existente y prevista para los residuos radiactivos generados en la central, cualquiera que sea su nivel de radiactividad.

Cabe destacar que en el PGRRyCG se deben categorizar por el titular las modalidades de gestión de los residuos radiactivos, estableciéndose una ordenación que sitúe como preferidas aquellas que consigan la valorización o el reciclaje de los residuos en la propia instalación. En el nivel de preferencia más bajo se encuentran los residuos radiactivos para los que no exista aún una vía de gestión final, encontrándose almacenados temporalmente en la central a la espera de la definición y aplicación de otras modalidades de gestión. Estos residuos son objeto de un seguimiento regulador específico, que requiere la elaboración por los titulares de planes de actuación concretos para analizar las posibles vías de gestión, seleccionar las más adecuadas e implantarlas en la instalación en los plazos de tiempo que se determinen.

El PGRRyCG establece además la clasificación de la instalación en zonas denominadas de residuos radiactivos (ZRR) y de residuos convencionales (ZRC), con controles específicos que garanticen una gestión independiente y controlada y que no haya por tanto residuos radiactivos que puedan ser gestionados por una vía convencional.

El PGRRyCG incorpora las actuaciones y compromisos del titular para la mejora continua de

la gestión de los residuos, con el objetivo de reducir su volumen y su contenido radiactivo, favoreciendo la valorización y el reciclaje y minimizando la cantidad de residuos que deban ser almacenados en depósitos definitivos como el Centro de El Cabril para los RBMA.

Cabe señalar que el principio de minimización de la generación de residuos radiactivos está establecido en el artículo 38 de la Ley sobre energía nuclear (LEN), que requiere a los productores adoptar las medidas apropiadas de manera que la generación de residuos, en cantidad y actividad sea la menor posible, conforme a la práctica científica existente en cada momento. La minimización de residuos también es, de acuerdo con la Directiva 2011/70/Euratom, por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos, uno de los principios que deben regir su gestión, recogándose así en el Real Decreto 102/2014 de transposición de la mencionada Directiva (art. 3).

Para la OLP de las centrales nucleares se ha establecido como objetivo regulador ampliar el control y el seguimiento actual de los requisitos de seguridad relacionados con la reducción de las cantidades de residuos RBMA que serán generados por las centrales nucleares en este periodo y con la posibilidad de la valorización y del reciclado de los materiales residuales.

Con ese fin y dentro de lo razonablemente posible, considerando los factores económicos y tecnológicos involucrados, se requiere a los titulares de las instalaciones que analicen las posibilidades de reducción para cada tipo de residuo e incorporen todos los proyectos activos de reducción y valorización a un Plan de Minimización de Residuos (PMR) que adoptará los indicadores de seguimiento periódico más adecuados y estará asociado al PGRRyCG para la OLP.

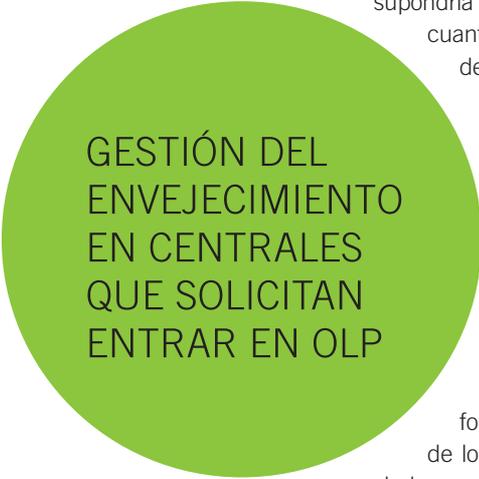
Además, el PMR deberá incorporar el análisis de la capacidad de almacenamiento disponible en los almacenes temporales de residuos RBMA autorizados en la instalación, considerando las previsiones de generación adicional durante la OLP y las vías de gestión de los residuos radiactivos RBMA durante este periodo.

Se mantendrán por parte del CSN los mecanismos de inspección y control de las actividades asociadas al PGRRyCG para la OLP, que tienen como base el requisito de la remisión por el titular de un informe anual sobre las mismas, en el que se debe incluir para los residuos RBMA un balance con la cantidad total de residuos radiactivos generados y acondicionados, un análisis comparativo de los datos con los de periodos precedentes y un análisis de la experiencia operativa durante el año objeto de la información.





Gestión del envejecimiento  
en centrales que solicitan  
entrar en OLP



## GESTIÓN DEL ENVEJECIMIENTO EN CENTRALES QUE SOLICITAN ENTRAR EN OLP

Tal y como se ha indicado en el preámbulo de esta monografía, el aspecto más relevante de la entrada de una central en la fase de Operación a Largo Plazo (OLP) es la importancia que adquiere la gestión del envejecimiento de estructuras, sistemas y componentes (ESC) de la central, puesto que si no se hiciera correctamente supondría un aumento difícilmente cuantificable del riesgo nuclear de la instalación.

Tal y como se define en la IS-22, el envejecimiento es el proceso general por el que las características de una ESC van cambiando con el tiempo o con el uso. Dicho efecto se manifiesta en la degradación progresiva, de forma continua o discontinua, de los materiales y de la capacidad para desempeñar las funciones de las ESC a lo largo del tiempo.

Por tanto, se puede decir que la degradación de las ESC de una central nuclear es una consecuencia directa de su operación, aunque es cierto que también pueden considerarse los posibles efectos de envejecimiento durante la fase de almacenamiento.

La tasa de fallos debido a estas posibles degradaciones tiene una dinámica a lo largo de la vida de operación de las ESC muy estudiada, que se representa por la llamada «curva de la bañera», la cual tiene tres etapas: una primera conocida como fase de juventud, cuyos fallos son provocados fundamentalmente por

problemas derivados del diseño inicial o bien del proceso de fabricación y montaje, la cual está asociada a la fase inicial de la operación de las ESC; la segunda etapa es la denominada fase de madurez, en la que los problemas iniciales han sido corregidos y en la que los programas existentes de vigilancia y mantenimiento son capaces de mantener una tasa de fallos suficientemente baja y constante en el tiempo, hasta la siguiente etapa; finalmente, la denominada fase de envejecimiento, en la que el desgaste producido por el largo tiempo de operación puede provocar un crecimiento sensible de la tasa de fallos, lo que hace necesario introducir mejoras en los planes de vigilancia y mantenimiento preventivo, así como en otros casos la aplicación a tiempo de medidas de mitigación y, cuando sea factible, la sustitución de los componentes afectados.

El aumento de fallos originado por envejecimiento podría comprometer los márgenes de seguridad del diseño inicial e incrementar el riesgo de la operación de la central, sobre todo si se está pensando en una posible estrategia de extensión de la operación mas allá de la vida de diseño de la planta (normalmente 40 años, en los diseños de origen americano). Por esta razón es tan importante su control, a través de la mejora de los programas iniciales de mantenimiento, la modernización de equipos así como por la implantación de programas de gestión del envejecimiento que permitan conocer los potenciales mecanismos de degradación y desarrollar las actividades necesarias para su control.

Los procesos de envejecimiento afectan tanto a componentes activos como pasivos, si bien su gestión es muy diferente debido, entre otros

aspectos, a las dificultades de sustitución de ciertos componentes y estructuras.

En el anexo III de esta monografía se incluye información de detalle sobre el desarrollo de los planes de gestión de envejecimiento de los componentes activos y pasivos.

## 6.1. COMPONENTES ACTIVOS

Se define componente activo aquel cuyo funcionamiento depende de un factor externo, tal como un accionamiento, un movimiento mecánico o el suministro de energía y que responde con un movimiento relativo de partes o un cambio de configuración.

El programa de gestión de componentes activos está basado fundamentalmente en la identificación temprana de problemas de envejecimiento y su vigilancia y análisis con el objeto de asegurar la fiabilidad y disponibilidad de las funciones de seguridad asignadas y requeridas en las bases de licencia aplicables a lo largo de la vida en servicio de la planta. Para ello, se aplican procesos de mantenimiento y pruebas, además de programas de sustitución periódicos basados fundamentalmente en el mantenimiento de la vida calificada, así como desarrollan planes de renovación tecnológica en los casos de una operación a largo plazo.

Los procesos que se consideran necesarios para una satisfactoria gestión del envejecimiento de los componentes activos son:

- Programas adecuados de mantenimiento, cuya eficacia se monitoriza mediante los

criterios definidos por la denominada Regla de Mantenimiento (RM) regulada por la Instrucción del Consejo IS-15.

- Programas de Inspección en Servicio (ISI) regulados por la Instrucción del Consejo IS-23.
- Gestión de la Calificación Ambiental (CA) regulada por la Instrucción del Consejo IS-27.
- Proceso de Fiabilidad de Equipos (FE).
- Gestión proactiva de la obsolescencia.

## 6.2. COMPONENTES PASIVOS

Según se define en la IS-22, **componentes pasivos son aquellos componentes y estructuras que desarrollan su función sin la participación de partes móviles ni cambios en su configuración o propiedades.**

El programa de gestión de envejecimiento de los componentes pasivos, conocido como **Plan de Gestión de Vida (PGV)**, está desarrollado siguiendo los requisitos de la Instrucción IS-22 que, como ya se ha indicado con anterioridad, se basan en el proceso regulado en Estados Unidos mediante el código federal 10CFR54 que contiene los requisitos para las solicitudes de licencia de OLP.

Los planes de gestión de vida son aplicables tanto a la vida de diseño original como a la OLP, si bien para esta última se requiere la realización de una serie adicional de programas de gestión del envejecimiento encaminados a garantizar el estado de los componentes y estructuras más allá de la vida de diseño original, así como la verificación de que los análisis de diseño cumplirán las condiciones establecidas en las autorizaciones de explotación de las

centrales a lo largo de todo el nuevo periodo de operación.

La estructura de un Plan de Gestión de Vida debe obedecer a lo requerido en la IS-22, y debe establecerse para el periodo de vida de diseño (PGV) y, si aplica, para el periodo de operación a largo plazo (PIEGE/PGV-LP).

El proceso para definir un Plan de Gestión de Vida se basa en las siguientes actividades, de acuerdo a la IS-22:

- a. Alcance y selección de ESC.
- b. Desarrollo de la Revisión de la Gestión del Envejecimiento (RGE).
- c. Emisión e implantación de los Programas de Gestión del Envejecimiento (PGE).
- d. Análisis de Envejecimiento en Función del Tiempo (AEFT), en caso de OLP.

#### **Alcance y selección de ESC**

En este proceso se determina las ESC importantes para la seguridad y sus funciones que deben incluirse en el Plan de Gestión de Vida en base a los criterios establecidos en el artículo tercero de la Instrucción del Consejo IS-22.

Tras la identificación de los sistemas que deben incluirse en el PGV en base a dichos criterios, la central realiza la selección de componentes y estructuras considerando exclusivamente aquellos componentes pasivos y de larga vida, y teniendo en cuenta las funciones propias a nivel de componente/estructura consideradas para garantizar las funciones del sistema o estructura.

Existen un gran número de funciones propias asociadas a componentes o estructuras; como ejemplos cabe señalar entre otras las siguientes: envolvente a presión, integridad estructural, intercambio de calor, protección contra inundaciones, barrera de fuego o aislamiento eléctrico o térmico.

En esta fase, por tanto, se identifican los límites de alcance y selección de los sistemas (mecánicos y eléctricos) y estructuras que están incluidos en el PGV, así como se discretizan todos los componentes y estructuras que requerirán revisión de la gestión del envejecimiento.

#### **Revisión de la Gestión del Envejecimiento (RGE)**

Tras el proceso de selección de las estructuras y componentes que entran dentro del alcance del PGV, la central debe realizar sobre las mismas el proceso de RGE que comprende básicamente las actividades siguientes:

- Identificación de los potenciales efectos y mecanismos de envejecimiento significativos.
- Evaluación de la validez de las prácticas de mantenimiento de la central para la gestión, mitigación y control de dichos mecanismos de envejecimiento significativos y definición en su caso de las mejoras necesarias en las mismas.
- Inclusión de dichas prácticas de mantenimiento en Programas de Gestión del Envejecimiento (PGE) adecuados para la gestión de los mecanismos de envejecimiento significativos.

El número de componentes individuales que por los diversos criterios aplicables pertenecen

al alcance del PGV es del orden de millares. Por esa razón, su tratamiento dentro de las actividades asociadas a la RGE, principalmente la identificación y evaluación de los potenciales efectos y mecanismos de envejecimiento, se realiza formando agrupaciones de estructuras y componentes en grupos homogéneos y analizando aspectos tales como funcionalidad, materiales constructivos, ambientes y condiciones operacionales.

Para este proceso se utiliza una amplia documentación relativa tanto a las condiciones ambientales de planta como a los materiales constructivos de las ESC que están dentro del alcance de la RGE, así el catálogo de actividades que la central tiene implantadas para cumplir con las actuales bases de licencia. En este proceso también se considera un elemento tan importante como es el análisis de la «experiencia operativa» tanto interna como externa, el cual permite completar la identificación de mecanismos de degradación que requieren gestión del envejecimiento.

### **Emisión e implantación de los Programas de Gestión del Envejecimiento (PGE)**

Un PGE se define como un conjunto estructurado de actividades encaminadas a la vigilancia, control y mitigación de los efectos y mecanismos de envejecimiento que afectan a las ESC que requieren gestión del envejecimiento.

Estos programas se basan en prácticas diversas de mantenimiento predictivo y preventivo, programas de calificación ambiental, pruebas periódicas y vigilancias incluidas en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF),

programas de inspección en servicio, programas de erosión-corrosión, etc., así como cualquier otra actividad de tipo específico que con el mismo fin pudiera realizarse en una central.

En cada uno de los PGE desarrollados, las centrales nucleares españolas definen los parámetros a monitorizar o inspecciones a aplicar para la gestión del envejecimiento de los componentes incluidos en el alcance del mismo. El objetivo de los programas es detectar de forma anticipada las degradaciones que puedan afectar a los componentes o aplicar las acciones preventivas o de mitigación que eviten, en la medida de lo posible, el desarrollo de los efectos de envejecimiento.

Los programas actualmente implantados en las centrales nucleares españolas, tras el proceso de conciliación con los programas modelos utilizados como referencia, son alrededor de 50, que abarcan todo tipo de actividades de vigilancia, control y mitigación y de componentes y estructuras, entre los que cabe destacar los relativos a inspección y vigilancia de la vasija del reactor y de tubería, a la inspección de corrosión por ácido bórico o corrosión acelerada por caudal (FAC) u otros tipos de corrosión, inspección de tanques y superficies externas e internas de tubería, control químico de agua y de aceites, inspección de tuberías enterradas, vigilancia de estructuras incluidos muros de fábrica, vigilancia de la estanqueidad e integridad estructural de la contención, incluyendo los tendones de contención en los casos que aplique, vigilancia de las estructuras hidráulicas, pinturas y recubrimientos y, finalmente, los relativos a la vigilancia de cables eléctricos y de instrumentación,

barras de fase, conexiones y aisladores y líneas de alta tensión.

Actualmente, las centrales españolas realizan la evaluación periódica de los resultados de la implantación de los diferentes programas de gestión del envejecimiento, y una medida de su efectividad, mediante la emisión de informes de seguimiento periódicos de cada PGE, con una periodicidad que varía en función de la frecuencia de las actividades. En dichos informes de seguimiento se recogen los resultados de las actividades del PGE y una evaluación de éstos, así como la identificación y análisis de la experiencia operativa interna y externa que pudiera haber afectado al PGE.

#### **Análisis de Envejecimiento en Función del Tiempo (AEFT)**

Los AEFT son cálculos o análisis que, formando parte de la documentación de licencia, afectan a ESC dentro del alcance del PGV y están basados en hipótesis de un tiempo de operación limitado para justificar la capacidad de dichos ESC para cumplir con su función propia.

La identificación de estos análisis y su evaluación es un proceso que debe incluirse en el Plan de Gestión de Vida de la central en los casos de una solicitud de renovación de la Autorización de Explotación por un periodo que supere la vida de diseño de la central, de acuerdo a lo requerido en el Artículo 5.1 de la Instrucción IS-22.

Los análisis de envejecimiento en función del tiempo que las centrales nucleares han identificado en sus Planes Integrados de Evaluación de la Gestión del Envejecimiento (PIEGE) de-

sarrollados hasta la fecha, se agrupan en los siguientes bloques:

- Fragilización neutrónica de la vasija del reactor.
- Fatiga de metales.
- Calificación ambiental de componentes eléctricos.
- Análisis de los tendones del sistema de pretensado de contención, en caso aplicable. En España aplica a las contenciones de CN Ascó y CN Vandellós II.
- Fatiga de contención.
- Otros AEFT específicos de la central.

### **6.3. PROCESO DE SUPERVISIÓN DEL CSN**

El CSN establece en la Instrucción IS-22 los requisitos de informes que han de proporcionar las centrales españolas en relación con la gestión del envejecimiento (tabla 2).

Adicionalmente, el seguimiento y supervisión por el CSN de los procesos de gestión del envejecimiento se encuentra dentro del denominado Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC), por lo que el CSN realiza desde hace varios años una inspección bienal a cada central, dentro del Plan Base de Inspección, en las que se revisa el estado de implantación y desarrollo del PGV, siguiendo las directrices del procedimiento interno PT.IV.223 «Gestión del envejecimiento de componentes y estructuras de centrales nucleares (actividades de inspección)». Además del seguimiento sistemático realizado mediante el Plan Base de Inspección, el CSN realiza evaluaciones de acuerdo a su procedimiento

interno PT.IV.105 «Gestión del envejecimiento de componentes y estructuras de centrales nucleares (actividades de evaluación)» y eva-

luación del denominado Factor de Seguridad 4 de la RPS, de acuerdo a la Guía de Seguridad GS-1.10 rev.2.

En el periodo de vida de diseño	Para la solicitud del permiso de explotación para la operación a largo plazo	Dentro del periodo de operación a largo plazo
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informe de las actividades del Plan de Gestión de Vida realizadas en el año anterior.</li> <li>- Periodicidad ANUAL.</li> <li>- Dentro de la documentación relativa a la RPS (DIEZ años), un análisis de los procesos de envejecimiento de la central, utilizando la información disponible en las actualizaciones de los PGV desarrolladas en el periodo decenal de la RPS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plan Integrado de Evaluación y Gestión del Envejecimiento (PIEGE).</li> <li>- Propuesta de suplemento del Estudio de Seguridad, que debe incluir los estudios y análisis que justifican la operación a largo plazo de la central.</li> <li>- Propuesta de revisión de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento, que debe incluir los cambios necesarios para mantener las condiciones seguras de operación durante la operación a largo plazo de la central.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informe de las actividades del Plan de Gestión de Vida a largo Plazo (PGV-LP) realizadas en el año anterior.</li> <li>- Periodicidad ANUAL.</li> </ul>

**Tabla 2. Informes requeridos por la IS-22**



Anexo I: ¿Qué es y cómo funciona una central nuclear?

Anexo II: Susceptibilidad a envejecimiento de estructuras, sistemas y componentes de centrales nucleares

Anexo III: Explicación detallada de la gestión del envejecimiento en centrales que solicitan entrar en OLP

## ANEXO I

### ¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA UNA CENTRAL NUCLEAR?

#### Centrales termoeléctricas

Una central nuclear es una instalación industrial cuyo objetivo comercial es la generación de energía eléctrica. Su funcionamiento es conceptualmente muy similar al de otras centrales termoeléctricas, tales como las centrales que queman carbón, fueloil o gas natural, con la notable diferencia de que la «caldera» en la que se genera el vapor que moverá las turbinas y el alternador eléctrico es de una tecnología específica en la que la fuente de energía es un reactor nuclear, con las limitaciones que ello supone y que se tienen en cuenta en su diseño.

Básicamente, las partes fundamentales de una central termoeléctrica son:

- La caldera, donde se calienta agua y se genera vapor a alta temperatura.
- El grupo turbogenerador, en el que la energía del vapor es transformada en energía mecánica y ésta en energía eléctrica que es vertida a la red de alta tensión a través del parque de salida, el cual es similar a una subestación eléctrica.
- El condensador, en el cual el vapor remanente es condensado por el sistema de agua de circulación, para ser bombeado de nuevo a la caldera por el sistema de agua de alimentación, con lo que se opera en ciclo cerrado.

- El foco frío, en el que se disipa la energía no utilizable en el proceso; se basa en una masa importante de agua a la que se descarga el agua caliente del sistema de circulación (como el mar, un pantano o un río caudaloso) o un sistema de grandes torres de refrigeración que disipan la energía a la atmósfera a través de un proceso de evaporación.

#### Centrales nucleares

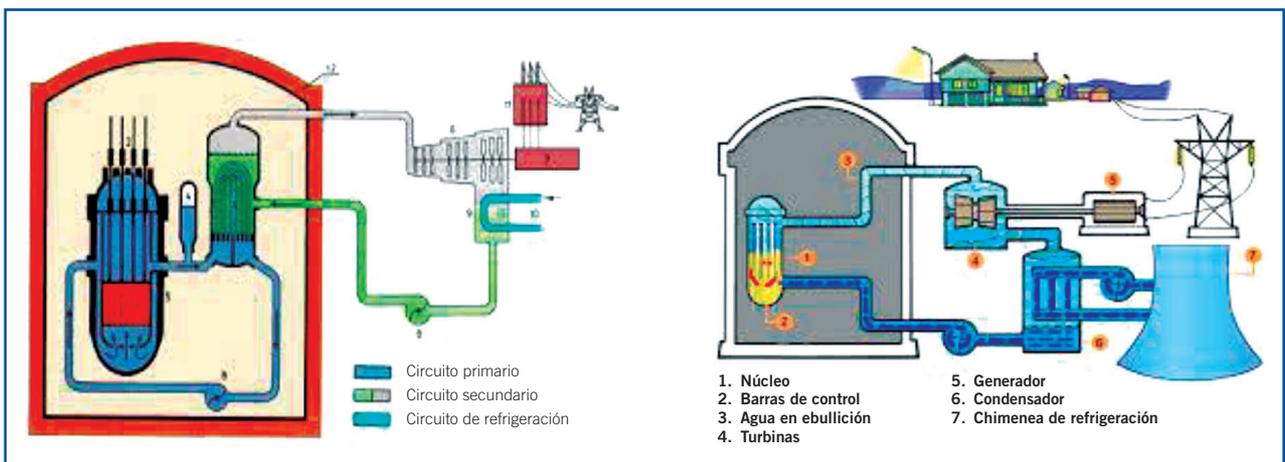
Una central nuclear incorpora en su diseño todas estas características y, además, todas aquellas derivadas de la existencia de un reactor nuclear, fundamentalmente el propio reactor nuclear y sus sistemas auxiliares, así como las barreras contra las radiaciones ionizantes y los sistemas de seguridad, que son muy específicos de este tipo de instalaciones.

Aunque existen reactores de muy diferentes diseños, los que actualmente operan en España son de los llamados «de agua ligera», existiendo 2 diseños conceptuales básicos (ver figura Al.1): de agua presurizada o PWR, de los cuales existen 6 reactores en operación en nuestro país (Almaraz I y II; Ascó I y II, Vandellòs II y Trillo), y de agua en ebullición o BWR, de los cuales funciona uno (Cofrentes).

En los diseños BWR, el reactor constituye la propia «caldera», por lo que el vapor allí generado es enviado directamente a las turbinas en circuito único, mientras que en un PWR existen dos circuitos, primario y secundario, y la generación de vapor se realiza en unos cambiadores de calor específicos denominados «generadores de vapor».

Un reactor nuclear (ver figura A1.2) se compone de un recipiente («vasija del reactor») donde se alojan el denominado «núcleo» y los «componentes internos». En el núcleo están los dos componentes fundamentales del reactor: los elementos de combustible nuclear y las barras de control; estas últimas son móviles y permiten regular el flujo de neutrones y, por tanto, la producción de energía de la reacción nuclear de fisión, así

como parar automática e inmediatamente la reacción en cadena en caso de que los parámetros operativos se aparten mínimamente de sus valores nominales. A través de este núcleo circula agua que constituye el fluido refrigerante, el cual extrae el calor del núcleo y lo lleva a los circuitos de producción de energía; este fluido actúa también como «moderador» de los neutrones, permitiendo la reacción en cadena.



En cuanto a barreras y sistemas de emergencia, cabe señalar como más relevantes los siguientes:

- El edificio de contención (llamado habitualmente la «contención»), que alberga la vasija del reactor y los componentes de su sistema de refrigeración. Está construido con paredes de hormigón de gran espesor y una envuelta interior de acero, por lo que constituye una barrera relevante ante la radiación y permite disponer de un alto nivel

de estanqueidad, y ello tanto en operación normal como en el caso de accidentes postulados.

- Sistemas de seguridad: existen diversos sistemas cuyo objetivo es tratar de evitar la ocurrencia de transitorios y accidentes y, en caso de que sucedan, mitigar sus consecuencias para evitar que tengan impacto no aceptable sobre los trabajadores, el público y el medio ambiente. La función de estos sistemas no está, en principio, directamente relacionada con el proceso de producción

**Figura A1.1.**  
Esquemas simplificados de centrales PWR y BWR

comercial de energía. Entre estos sistemas, se pueden destacar los siguientes:

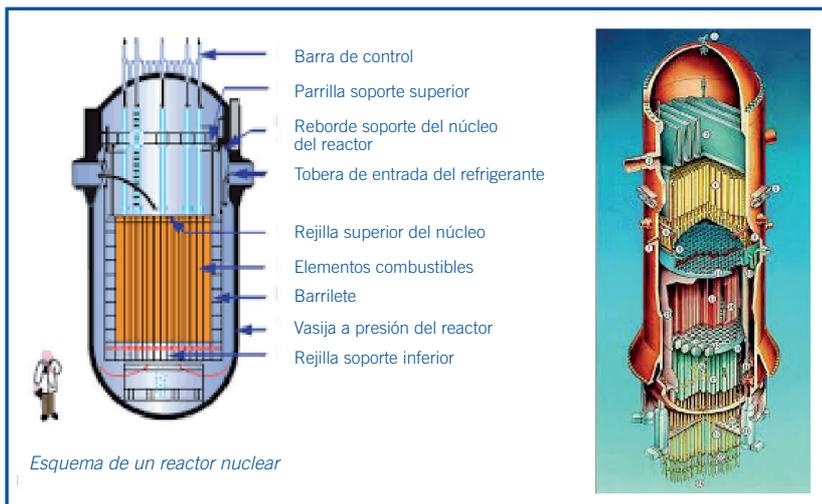
- El sistema de protección del reactor que, ante cualquier desviación significativa de las condiciones normales de operación, inicia automáticamente la inserción rápida de las barras de control dentro del núcleo, deteniendo inmediatamente la reacción de fisión en el núcleo del reactor.
- El sistema de refrigeración de emergencia del núcleo del reactor, que permite inyectar al mismo grandes cantidades de agua fría en caso de pérdida de la capacidad de refrigeración normal del núcleo.
- Los sistemas de refrigeración y rociado de la contención, cuya función es enfriar dicho recinto en caso de accidente.
- Los sistemas de ventilación y aire acondicionado, diseñados para mantener las condiciones ambientales adecuadas para

las personas y los equipos. Para ello, disponen también de grandes unidades de filtrado con el fin de poder retener las partículas radiactivas que se hubieran podido liberar en caso de accidente.

- Los generadores diesel de emergencia, con capacidad de alimentar eléctricamente a todos los sistemas de seguridad de la planta.

A estos sistemas se les da crédito en los análisis de accidentes incluidos en el Estudio de Seguridad de la central, en los que se verifica que las consecuencias de los accidentes postulados están dentro de los límites aceptados por la normativa. Además, las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF) establecen toda una serie de pruebas y restricciones operacionales de modo que la central no pueda operar en caso de indisponibilidad de dichos sistemas.

Cualquier instalación industrial, como por



**Figura A1.2.**  
Esquemas simplificados de reactores PWR y BWR

ejemplo una central nuclear, está compuesta por diversas estructuras (entre las que cabe destacar edificios, viales, parques eléctricos, balsas de almacenamiento de agua, etc.) y también de sistemas, los cuales han sido diseñados para cumplir las diferentes funciones (tanto las relacionadas con la producción como con la seguridad) necesarias en cada instalación; estos sistemas, sean del tipo que sean, están compuestos por componentes, fundamentalmente mecánicos, eléctricos y de instrumentación y control.

Todas estas Estructuras, Sistemas y Componentes (ESC) están sometidas a procesos normales de envejecimiento, tanto por el uso como por el verse afectadas por las condiciones ambientales del lugar concreto en el que se encuentran, tanto en el interior como en el exterior de los edificios de la instalación (humedad, temperatura, radiación, exposición solar, etc.). Todo ello hace necesario implantar procesos de vigilancia y pruebas del estado operacional de los mismos y su mantenimiento y sustitución, cuando así se requiere.

En el caso particular de una central nuclear estos procesos de vigilancia y mantenimiento revisten una importancia muy especial, debido al riesgo inherente a este tipo de instalaciones en las que los sistemas y barreras de seguridad no siempre están siendo utilizados de forma permanente, sino que se encuentran en una condición «de espera», por si resultara necesario su funcionamiento, por lo que es imprescindible disponer de procedimientos continuos y fiables que garanticen que se mantienen siempre disponibles y en perfecto estado.

Como ya se ha dicho, prácticamente todos los

componentes de una central están sometidos a procesos de envejecimiento, pero es importante señalar que algunos de ellos, como es el caso de los componentes activos, se someten a los procesos señalados de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, o son sustituidos periódicamente en base a su vida calificada o siguiendo las recomendaciones del fabricante, mientras que los componentes pasivos cuya sustitución es poco factible, se someten a vigilancia mediante inspecciones y pruebas o a procesos de mitigación para reducir la susceptibilidad a potenciales mecanismos de degradación. No obstante, estos componentes pueden sufrir acciones correctoras en caso de ser requeridas para garantizar su estado operacional.

Los componentes más importantes para la seguridad de una central nuclear (ver anexo I) que se pueden destacar en este sentido, o bien por estar sometidos a condiciones limitantes de funcionamiento o bien por que su fallo supondría un incremento inaceptable del riesgo de la instalación (o por ambos):

- La vasija y los internos del reactor, ya que están sometidos a condiciones muy demandantes de presión, temperatura y especialmente de radiación (por su efecto a largo plazo sobre las propiedades mecánicas del acero). Por ello se dispone de un programa específico de supervisión de su estado.

## ANEXO II

### SUSCEPTIBILIDAD AL ENVEJECIMIENTO DE ESTRUCTURAS, SISTEMAS Y COMPONENTES DE CENTRALES NUCLEARES

- Las tuberías y componentes del sistema de refrigerante del reactor, cuya pérdida de integridad supone el accidente más grave de los postulados en el Estudio de Seguridad.
- Las estructuras del edificio de contención y sus componentes asociados (fundamentalmente compuertas de acceso y penetraciones mecánicas y eléctricas).
- Las tuberías y componentes de los sistemas de seguridad, cuyo fallo supondría una merma importante de la capacidad de la instalación para hacer frente a un accidente. Entre estos sistemas cabe destacar el sistema denominado habitualmente de agua de servicios esenciales, cuya función principal es evacuar, en caso de accidente, a un sumidero de calor (que puede ser el mismo o no que el sumidero para el caso de operación normal que se menciona en el anexo de este documento). Las tuberías de este sistema son de acero al carbono y conducen un fluido (agua bruta) que normalmente es de una calidad inferior a la que manejan el resto de sistemas de seguridad de la central, por lo que son más susceptibles a diversos fenómenos de corrosión.
- Las propias estructuras que conforman el sumidero de calor mencionado en el párrafo anterior.

### Mecanismos de degradación

Los potenciales mecanismos de degradación que pueden presentarse en las ESC de las centrales nucleares dependen, como ya se ha indicado anteriormente, tanto de los materiales como de los ambientes a los que se encuentran expuestas durante su vida de servicio.

Estos mecanismos se estructuran en tres grupos diferenciados: componentes metálicos, componentes estructurales y componentes eléctricos.

En la tabla AII.1 se recogen, de forma resumida, los materiales y ambientes tipo considerados en una central para identificar los potenciales mecanismos de degradación.

Un efecto característico de envejecimiento de los componentes mecánicos es la pérdida de material causada por mecanismos como la corrosión general, por picaduras, galvánica, corrosión microbacteriana, erosión-corrosión, entre otros. Seguidamente se describen algunos de estos mecanismos de envejecimiento.

Teniendo en cuenta la combinación de materiales/ambientes y la experiencia de la industria, se identifican los mecanismos y efectos más significativos, algunos de los cuales se describen a continuación.

La **corrosión general** es el resultado de la reacción química o electroquímica entre un material y un ambiente agresivo, de manera que por un ataque uniforme da como resultado la disolución del material en el ambiente y la producción de productos de corrosión. Este mecanismo se produce fundamentalmente en los aceros al carbono, de baja aleación y fundiciones.

Materiales	Ambientes
Materiales metálicos: Acero al carbono Acero inoxidable Aleaciones base níquel Aleaciones de cobre, de aluminio Fundiciones Titanio y aleaciones de titanio  Materiales poliméricos: Elastómeros Termoplásticos Orgánicos (uso eléctrico, aislamientos)  Materiales cerámicos y vidrios: Aislamientos térmicos Fibra de vidrio Minerales (uso eléctrico) Boraflex  Materiales compuestos: Cortafuegos Composite Recubrimientos de protección frente al fuego  Hormigón Otros tipos	Aceite / gasoil  Agua sin tratar (río, lago o mar, u otras no desmineralizadas)  Agua tratada y/o vapor  Aire / gas (para aire se considera tanto el aire interno en una tubería o componente, como el ambiente interior en un edificio)  Enterrado (componentes en contacto directo con el terreno o materiales de relleno)  Hormigón  Intemperie (aire exterior)

**Tabla AII.1. Tipos de materiales – ambientes**

La **corrosión inducida microbiológicamente** («Microbiologically Induced Corrosion», **MIC**) es un ataque corrosivo acelerado por la influencia de la actividad microbiológica. Los microorganismos rompen la capa de óxido protectora del metal y producen sustancias corrosivas y depósitos sólidos que aceleran las reacciones electroquímicas del ataque corrosivo, normalmente en forma de corrosión por

picaduras o intersticial (figura AII.1). Por ello, la MIC se manifiesta como una pérdida de material localizada, similar a la corrosión por picaduras. Suele producirse en componentes metálicos que están expuestos a agua sin tratar, aunque también podrían darse en agua tratada si esta estuviera expuesta a posibles contaminantes, y donde se den unas condiciones de estancamiento.



Figura AII.1: Detalle picadura «*pin-hole*» por MIC

Otro de los mecanismos de degradación que puede finalizar en una corrosión localizada e incluso en una obstrucción del flujo, son las tuberculaciones que consisten en una formación de productos de corrosión que son significativamente menos densos que el metal del que

fueron producidos. Estas tuberculaciones pueden favorecer el inicio de procesos de corrosión generalmente localizada como corrosión intersticial, picaduras o incluso MIC. Este mecanismo, al igual que el MIC, suele detectarse en sistemas de agua sin tratar (figura AII.2).



**Figura AII.2: Detalle de tubería afectada por tuberculaciones.**

La **corrosión acelerada por el caudal** («Flow Accelerated Corrosion», FAC), también denominada erosión–corrosión, se da cuando a la acción mecánica del flujo sobre el material se le suma el efecto corrosivo del fluido. La FAC depende de la velocidad del fluido, las características del ambiente (temperatura y química del fluido) y la susceptibilidad del material. La FAC es altamente dependiente también de la geometría del componente, favoreciendo su desarrollo las altas velocidades y las zonas de turbulencia. Los aceros inoxidables estructurales en agua tratada o agua sin tratar se consideran resistentes a la FAC, mientras que por el

contrario, los aceros estructurales al carbono y de baja aleación son susceptibles al dicho mecanismo.

Otro de los efectos de envejecimiento que pueden sufrir los componentes mecánicos es el agrietamiento causado por mecanismos como la corrosión bajo tensión, la corrosión intergranular, la fatiga, entre otros. Seguidamente se describe alguno de estos mecanismos de envejecimiento:

La **corrosión bajo tensión** («Stress Corrosion Cracking», SCC) es un mecanismo de degra-

dación originado por la combinación de tres factores: un estado tensional de tracción (aplicado o residual), un ambiente corrosivo y un material susceptible. La reducción o eliminación de cualquiera de estos factores reduce la posibilidad del desarrollo de un agrietamiento por corrosión bajo tensión. La SCC puede caracterizarse como corrosión bajo tensión intergranular («Intergranular Stress Corrosion Cracking», IGSCC), o corrosión bajo tensión transgranular («Transgranular Stress Corrosion Cracking», TGSCC) dependiendo de la morfología de la grieta. El mecanismo de SCC puede acelerarse cuando el material es sometido a irradiación, en cuyo caso se denomina corrosión bajo tensión asistida por irradiación («Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking», IASCC). Los componentes mecánicos susceptibles a este tipo de mecanismos, teniendo en cuenta las condiciones ambientales a las que se encuentran expuestos (temperatura, con-

centración de oxígeno en agua o radiación), suelen ser los aceros inoxidables austeníticos.

Esta breve descripción de alguno de los mecanismos de degradación más significativos se finaliza con el fenómeno más limitante que es el que afecta a los materiales de los componentes que están expuestos al impacto de neutrones de alta energía que corresponde a la parte de la vasija del reactor enfrentada al núcleo, conocida como «*beltline*». La irradiación por neutrones del material de la vasija produce una fragilización del mismo que se manifiesta en una pérdida de ductilidad y de la tenacidad del material, que viene acompañada generalmente en un notable incremento en el límite elástico y la resistencia mecánica. Por ello, para garantizar una operación segura de la central en las condiciones consideradas en los análisis de seguridad, las centrales disponen de un programa de vigilancia de la fragilización.

Dada la especial relevancia que tiene la adecuada gestión del envejecimiento de los materiales en la operación segura de una central nuclear durante la fase de Operación a Largo Plazo (OLP) de una central nuclear, y a pesar del carácter “divulgativo” de esta monografía del CSN, se ha considerado conveniente incluir un anexo específico que desarrolle y amplíe el contenido del apartado 06 de este documento; con ello se trata de atender a una posible demanda de información específica de un cierto público más familiarizado con el esta problemática.

Tal y como se ha indicado en el preámbulo y en el capítulo 6 de esta monografía, el aspecto más relevante de la entrada de una central en la fase de Operación a Largo Plazo (OLP) es la importancia que adquiere la gestión del envejecimiento de estructuras, sistemas y componentes (ESC) de la central, puesto que si no se hiciera correctamente supondría un aumento difícilmente cuantificable del riesgo nuclear de la instalación.

La instrucción del Consejo IS-22 define el envejecimiento como el proceso general por el que las características de ESC van cambiando con el tiempo o con el uso. Dicho efecto se manifiesta en la degradación progresiva, de forma continua o discontinua, de los materiales y de la capacidad para desempeñar las funciones de las ESC a lo largo del tiempo.

Por tanto, se puede decir que la degradación de las ESC de una central nuclear es una consecuencia directa de su operación, aunque es cierto que también pueden considerarse los posibles efectos de envejecimiento durante la fase de almacenamiento.

Los procesos de envejecimiento afectan tanto a componentes activos como pasivos, si bien

su gestión es muy diferente debido, entre otros aspectos, a las dificultades de sustitución de ciertos componentes y estructuras.

#### a) Componentes activos

Como se indica en el capítulo 6, la gestión del envejecimiento para estos componentes se basa en la identificación temprana de posibles problemas de envejecimiento y su vigilancia y análisis con el objeto de asegurar la fiabilidad y disponibilidad de las funciones de seguridad asignadas y requeridas en las bases de licencia aplicables a lo largo de la vida en servicio de la planta.

Para ello, las centrales nucleares tienen implantados una serie de procesos basados en prácticas de mantenimiento, inspecciones y pruebas, así como programas de sustitución que garantizan el cumplimiento con las funciones de seguridad. Estos procesos son los siguientes:

## ANEXO III

EXPLICACIÓN DETALLADA  
DE LA GESTIÓN DEL  
ENVEJECIMIENTO  
EN CENTRALES QUE  
SOLICITAN ENTRAR  
EN OLP

- Programas adecuados de mantenimiento, incluyendo el cumplimiento de los criterios definidos por la denominada Regla de Mantenimiento (RM) regulada por la Instrucción del Consejo IS-15.
- Programas de Inspección en Servicio (ISI) regulados por la Instrucción del Consejo IS-23.
- Gestión de la Calificación Ambiental (CA) regulada por la Instrucción del Consejo IS-27.
- Proceso de Fiabilidad de Equipos (FE).
- Gestión proactiva de la obsolescencia.

Para el control de los componentes activos, y ya desde el inicio de la operación comercial, todas las centrales españolas tienen establecidos programas de mantenimiento preventivo de las ESC basándose en las recomendaciones de los fabricantes y suministradores, que se han ido optimizando posteriormente en función de la experiencia operativa propia y ajena, de las recomendaciones de organismos internacionales, como EPRI, INPO, WANO, de las comunicaciones de los suministradores, etc. El programa de mantenimiento preventivo constituye la herramienta principal para hacer frente a los problemas de envejecimiento de equipos activos y un elemento importante de este programa es conocer la vida útil de los equipos y componentes y establecer tareas periódicas de sustitución antes de que finalice su vida útil.

Además de lo anterior, las centrales nucleares españolas tienen implantado un programa de verificación de la eficacia del mantenimiento, más conocido como **Regla de Mantenimiento**

(RM), que está basado en la Instrucción del Consejo IS-15 y en la Guía de Seguridad 1.18 asociada a la misma, las cuales están actualmente en revisión 1, cuyos procesos tratan de asegurar la adecuada vigilancia de los componentes activos y el seguimiento de los fallos e indisponibilidades de las ESC importantes para la seguridad.

Los procesos establecidos en la ya mencionada RM tratan de garantizar la adopción de medidas correctoras para resolver los potenciales problemas que se identifiquen en relación con el comportamiento de equipos y componentes, entre los que se encuentran los debidos a envejecimiento. Las medidas pueden consistir en la sustitución de componentes o subcomponentes envejecidos, y a veces obsoletos, o en caso necesario la realización de cambios de diseño.

Otro de los programas que garantizan una gestión del envejecimiento de ciertos componentes es el programa de **mantenimiento de la Calificación Ambiental**, aplicable a equipos que se pudieran encontrar localizados en condiciones ambientales «severas», tanto en operación normal como durante accidentes postulados, los cuales están sometidos a la normativa aplicable de calificación ambiental.

Otro de los procesos relevantes es el de **Fiabilidad de Equipos**, el cual ha sido implantado por las centrales españolas, de forma voluntaria, siguiendo las recomendaciones de INPO. Su objetivo es integrar y coordinar en un único proceso un amplio rango de actividades relacionadas con la fiabilidad de equipos importantes para la planta. Mediante este proceso se desarrollan e implementan «planes de salud» de los equipos

a largo plazo, se monitoriza el comportamiento o condición de los equipos y se realizan continuos ajustes de las tareas de mantenimiento preventivo y sus frecuencias en base a la experiencia operativa, constituyendo una herramienta útil adicional para detectar y corregir problemas de envejecimiento de componentes.

Otro de los procesos importantes que debe desarrollarse, sobre todo ante una operación a largo plazo, es la **obsolescencia** de las ESC. Se define obsolescencia (o envejecimiento no físico) como el proceso de convertirse algo en anticuado debido a la evolución de los conocimientos o de la tecnología o a los cambios en la reglamentación o normativa. Como ejemplos del efecto de la obsolescencia está la no disponibilidad de repuestos, la incompatibilidad de equipos nuevos y viejos, etc.

El impacto de la obsolescencia puede afectar a la seguridad de una instalación, y también puede verse afectada su producción. El impacto en la seguridad se debe principalmente a que el aumento de componentes con problemas de obsolescencia afectaría negativamente a la fiabilidad de los equipos importantes para la seguridad.

Para minimizar dicho impacto, las centrales nucleares establecen programas proactivos para la gestión de repuestos, que permitan llevar a cabo las acciones planificadas necesarias para anticiparse a los problemas de obsolescencia; es decir, disponer de procesos que aseguren la detección y priorización de las posibles obsolescencias, el desarrollo de soluciones adecuadas como el uso de repuestos alternativos que permitan llevar a cabo la sus-

titución de un componente obsoleto (análisis de equivalencias, calificación, dedicaciones, cambios de diseño o la denominada «ingeniería inversa»), o los procesos de intercambio de repuestos entre plantas con ayuda de catálogos de componentes de interés común, para lo que se utilizan bases de datos desarrolladas por la industria.

Otro de los programas considerados eficaces para garantizar el estado de los componentes activos y, por tanto, mantener la seguridad de la planta, son los **planes de renovación tecnológica**, cuyo adecuado desarrollo previene su envejecimiento y su obsolescencia.

#### **b) Componentes pasivos**

Según se define en la IS-22, **componentes pasivos son aquellos componentes y estructuras que desarrollan su función sin la participación de partes móviles ni cambios en su configuración o propiedades.**

El programa de gestión de envejecimiento de componentes pasivos, conocido como **Plan de Gestión de Vida (PGV)**, está desarrollado siguiendo los requisitos de la Instrucción IS-22 que, como ya se ha indicado con anterioridad, se basa en el proceso regulado en Estados Unidos mediante el 10CFR54 que contiene los requisitos para las solicitudes de licencia de OLP.

Los planes de gestión de vida son aplicables tanto a la vida de diseño original como a la OLP, si bien para esta última se requiere la realización de una serie adicional de programas encaminados a garantizar el estado de los componentes y estructuras más allá de la vida de diseño original, así como la verificación de

que los análisis de diseño cumplirán las bases de licencia actuales a lo largo de todo el nuevo periodo de operación.

El desarrollo de los planes de gestión de vida y su implementación tiene un carácter multidisciplinar, por lo que en las organizaciones de los titulares de las centrales se han establecido grupos específicos para su gestión, definiendo una estructura organizativa responsable de dichos planes, así como el establecimiento de funciones y asignación de responsabilidades.

De manera general, los titulares disponen de un Comité de Gestión de Vida, formado por representantes de todas las secciones implicadas en el desarrollo de las actividades definidas para la vigilancia, control y mitigación de los mecanismos y efectos de envejecimiento significativos de las ESC, en definitiva todas las actividades encaminadas a la gestión del envejecimiento, que trata de facilitar las sinergias de cada una de las unidades o secciones de la central, permitiendo una mejor gestión de dichas actividades, un adecuado análisis de la experiencia derivada de la aplicación de los programas de gestión, la emisión de propuestas de mejora encaminadas a un aumento en la efectividad de los programas de gestión de envejecimiento implantados, así como la gestión documental.

La organización concreta del Comité de Gestión de Vida depende de la estructura organizativa de cada central, pero es común a todas las centrales que en este comité se integren representantes de las siguientes secciones de la planta:

- Mantenimiento mecánico.
- Mantenimiento eléctrico.

- Mantenimiento de instrumentación y control.
- Química y radioquímica.
- Operación.
- Inspección en servicio y pruebas.
- Ingeniería de planta y del reactor.
- Ingeniería y proyectos especiales, diseños especiales o proyectos, programas y materiales.
- Seguridad y Licencia.

La estructura de un Plan de Gestión de Vida debe obedecer a lo requerido en la IS-22, y debe establecerse para el periodo de vida de diseño (PGV) y, si aplica, para el periodo de operación a largo plazo (PIEGE/PGV-LP).

De acuerdo con lo indicado en la Instrucción del Consejo IS-22, el proceso para definir un Plan de Gestión de Vida se basa en las tres siguientes actividades:

- i. Alcance y selección de ESC
- ii. Desarrollo de la Revisión de la Gestión del Envejecimiento (RGE)
- iii. Emisión e implantación de los Programas de Gestión del Envejecimiento (PGE)

A continuación se describen estas tres actividades:

#### **i) Alcance y selección de ESC**

La IS-22 [1] establece los criterios para la identificación de las Estructuras, Sistemas y Componentes (ESC) dentro del alcance del Plan de Gestión de Vida, cuyo texto se reproduce a continuación:

*«El alcance del programa de gestión del envejecimiento, especificado en el punto cuarto de*

esta Instrucción, debe incluir las siguientes ESC relacionadas con la seguridad y relevantes para la seguridad:

3.1. Los elementos relacionados con la seguridad que deben seguir funcionando, durante y después de cualquier suceso base de diseño que pudiera producirse, para garantizar las siguientes funciones:

- La integridad de la barrera de presión del refrigerante del reactor,
- La capacidad de parar el reactor y mantenerlo en una condición de parada segura; o
- La capacidad de prevenir o mitigar las consecuencias de los accidentes, de modo que las exposiciones radiactivas fuera del emplazamiento se mantengan por debajo de los límites establecidos.

3.2 Los elementos relevantes para la seguridad cuyo fallo podría impedir el cumplimiento satisfactorio de cualquiera de las funciones identificadas en el apartado 3.1 anterior.

3.3 Los elementos importantes para la seguridad, con los que se cuenta en los análisis de seguridad de la instalación y que están relacionadas con los requisitos de protección contraincendios (FP) calificación medioambiental (EQ) choque térmico a presión (PTS), transitorios sin parada automática del reactor (ATWS) y pérdida total de alimentación eléctrica (SBO).»

Tras la identificación de los sistemas que deben incluirse en el PGV en base a los criterios funcionales antes referidos, el titular realiza la selección de componentes y estructuras considerando exclusivamente aquellos componentes pasivos y de larga vida, y teniendo en cuenta las funciones propias a nivel de componente/estructura consideradas para

garantizar las funciones propias del sistema o estructura.

Para el proceso de selección de componentes y estructuras, se usan principalmente los planos y esquemas disponibles de los sistemas y estructuras de la planta, complementándolos con recorridos de planta («walkdown») que permiten identificar elementos a los que se le da crédito para la protección de componentes relacionados con la seguridad, como por ejemplo aquellos que tienen una función frente a inundaciones, sismo, incendio, etc, o los que tienen una relación espacial (proximidad) con componentes relacionados con la seguridad, de manera que su fallo puede implicar el incumplimiento de una función de seguridad.

Este proceso complementario es imprescindible no solamente para la identificación de componentes asociados a sistemas mecánicos o a estructuras, sino también para la identificación de componentes de sistemas eléctricos, para los que para el componente más relevante que son los cables y sus conexiones, los cuales se encuentran presentes en todas las zonas de la central con una gran variedad de posiciones, ambientes, materiales y aplicaciones, es imprescindible la realización de «análisis por áreas» y de puntos calientes que permite la identificación de los cables más representativos para su vigilancia y de esta forma garantizar la situación general de los mismos.

Como resultado, se obtienen los planos de límites, en los que se identifican todas aquellas estructuras y componentes que requieren revisión de la gestión del envejecimiento y que se encuentran dentro del alcance del Plan de Gestión de Vida.

El proceso seguido por las centrales nucleares españolas para determinar el alcance de los componentes de los sistemas mecánicos, eléctricos y estructuras que deben estar gestionados por el Plan de Gestión de Vida se resume en el esquema de la figura AIII.1.

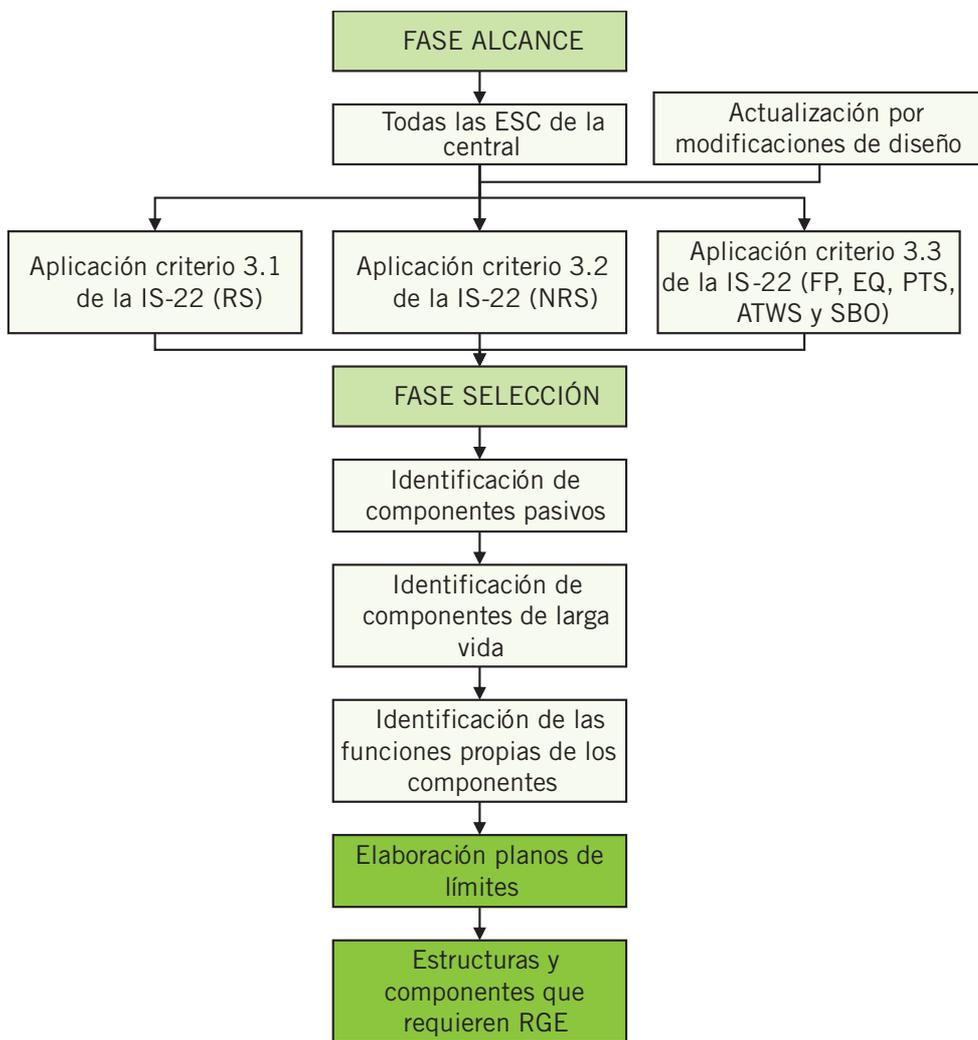


Figura AIII.1. Proceso de Alcance y Selección de la gestión del envejecimiento

## ii) Desarrollo de la Revisión de la Gestión del Envejecimiento (RGE)

Tras el proceso de selección de las estructuras y componentes que entran dentro del alcance del PGV, el titular debe realizar sobre las mismas el proceso de RGE que comprende básicamente las actividades siguientes:

- Identificación de los potenciales efectos y mecanismos de envejecimiento significativos.
- Evaluación de la validez de las prácticas de mantenimiento de la central para la gestión, mitigación y control de dichos mecanismos de envejecimiento significativos y definición en su caso de las mejoras necesarias en las mismas,
- Inclusión de dichas prácticas de mantenimiento en Programas de Gestión del Envejecimiento (PGE) adecuados para la gestión de los mecanismos de envejecimiento significativos.

El número de componentes individuales que por los diversos criterios deben pertenecer al alcance del PGV es del orden de millares. Por esa razón, su tratamiento dentro de las actividades asociadas a la RGE, principalmente la identificación y evaluación de los potenciales efectos y mecanismos de envejecimiento, se realiza considerando aspectos tales como funcionalidad, materiales constructivos, ambientes y condiciones operacionales, lo que permite hacer agrupaciones de estructuras y componentes en grupos homogéneos.

Actualmente las centrales nucleares españolas agrupan las ESC en agrupaciones tales como:

- Un equipo o estructura única en la central; por ejemplo «Vasija del Reactor».
- Un grupo de equipos o estructuras idénticos en materiales constructivos, ambientes y funciones; por ejemplo «Bombas del sistema de extracción de calor residual,RHR».
- Un grupo de componentes o estructuras del mismo tipo y con la misma función que, de acuerdo con la experiencia genérica en evaluaciones de gestión de vida, es tratado como un «componente-tipo»; por ejemplo soportes de tubería, cables, soportes antilátigo.
- Un grupo de componentes de tipos diferentes conectados entre sí y con la misma función por la que son considerados en el alcance de Gestión de Vida; por ejemplo «Tuberías relacionadas con la seguridad (RS) del sistema de agua de alimentación auxiliar, AFW; esta agrupación incluiría los tramos de tubería y accesorios de tubería que realizan conjuntamente una(s) función(es) del sistema relacionada(s) con la seguridad.

Dentro de estas agrupaciones de primer nivel se realiza un segundo nivel de agrupación, en el que se definen diferentes elementos que forman parte de dicha agrupación, en función del tipo de componente, de su material o de su función propia.

Ejemplos de este tipo de agrupaciones de segundo nivel, o elementos, pueden ser:

- Dentro de una agrupación como «Bombas RHR» se pueden identificar los elementos siguientes: carcasa, pernos y tuercas, pernos y tuercas de anclaje.
- Dentro de una agrupación como «Tuberías RS del sistema AFW» se pueden identificar

los elementos siguientes: tubería de acero al carbono, válvulas de acero al carbono, válvulas de acero inoxidable, pernos y tuercas de acero al carbono.

Otro aspecto importante considerado para la identificación de mecanismos y efectos del envejecimiento es la experiencia operativa interna y externa (nacional e internacional), para ello se usa una amplia base documental elaborada por la industria, así como también se considera en los análisis la información de los programas de I+D relacionados con la degradación por envejecimiento de las ESC.

Finalmente, el resultado de las combinaciones de componentes tipo, materiales, ambientes y efectos de envejecimiento identificados es comparado con la información correspondiente de los documentos de referencia para la elaboración de un PGV, que son el NUREG 1800 y el NUREG 1801.

En la figura AIII.2 se incluye un esquema simplificado del proceso de revisión de la gestión del envejecimiento, el cual concluye en la identificación de los mecanismos de envejecimiento considerados en cada tipo de componente/estructura o grupo.

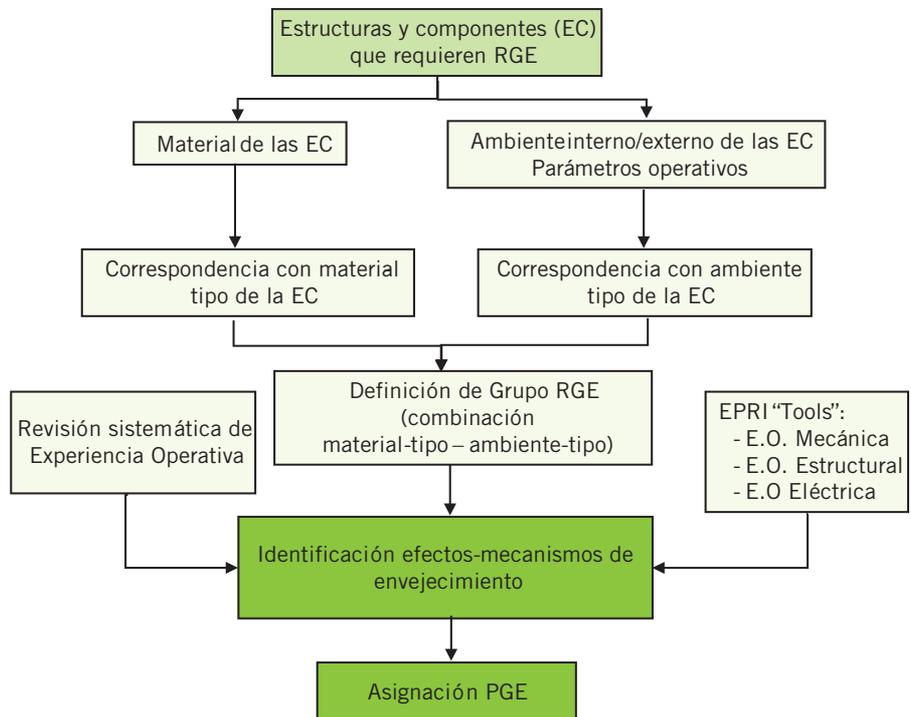


Figura AIII.2. Proceso de Revisión de la Gestión del Envejecimiento (RGE)

### iii) Emisión e implantación de los Programas de Gestión del Envejecimiento (PGE)

Un Programa de Gestión del Envejecimiento se define como un conjunto estructurado de actividades encaminadas a la vigilancia, control y mitigación de los efectos y mecanismos de envejecimiento que afectan a las ESC que requieren gestión del envejecimiento.

Estos programas se basan en prácticas diversas de mantenimiento predictivo y preventivo, programas de calificación ambiental, pruebas periódicas y vigilancias incluidas en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF), programas de inspección en servicio,

programas de erosión-corrosión, etc., así como cualquier otra actividad de tipo específico que con el mismo fin pudiera realizarse en una central.

Para la definición de estos programas (figura AIII.5), las centrales analizan si los mecanismos significativos de envejecimiento y sus efectos identificados en la fase de la revisión de la gestión del envejecimiento están adecuadamente vigilados, controlados y mitigados mediante las prácticas de mantenimiento predictivo y preventivo, las actividades de inspección, las pruebas, las verificaciones y el control de parámetros operacionales ya implantados de acuerdo con las bases de licencia vigentes.

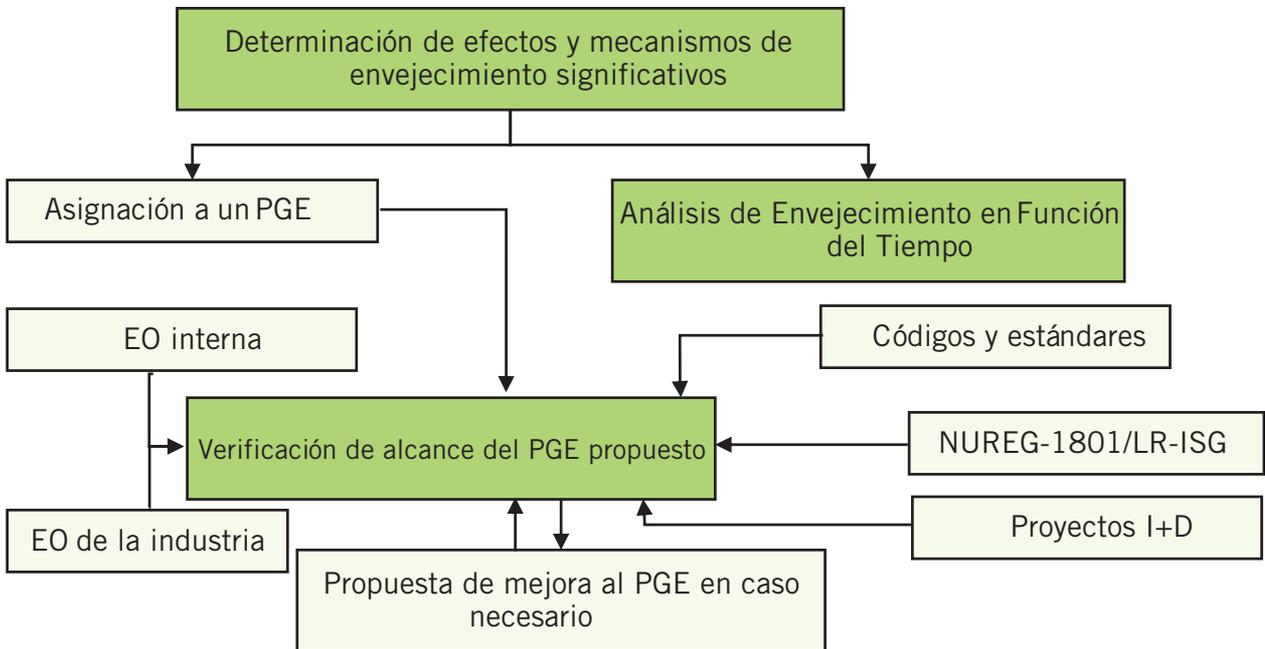


Figura AIII.3. Proceso elaboración PGE

Una vez identificadas todas las actividades desarrolladas por la planta, se analizan uno a uno los diez atributos definidos en el NUREG-1800, siguiendo como programa modelo el reflejado en el NUREG-1801, si lo hubiera, o en el LR-ISG aplicable, si existe.

En este análisis la central trata de identificar todas las actividades de inspección y mantenimiento encuadradas en el PGE y su consistencia con los programas modelo y de ello deriva como resultado la necesidad de establecer nuevas actividades o programas, que serán consideradas como propuestas de mejora o, en caso contrario, las excepciones al programa modelo. En estos casos se realiza un análisis y se establecen las medidas compensatorias que tratan de asegurar el adecuado control del mecanismo de envejecimiento.

Un esquema de PGE contiene, como mínimo:

- Un apartado dónde se identifiquen las ESC dentro de su alcance con indicación de los materiales, ambientes y mecanismos de degradación asociados.
- Un apartado descriptivo de los programas específicos y actividades de inspección y control en los que se fundamenta el PGE, y en el que se especifiquen los criterios de aceptación y las acciones correctoras.
- Relación de excepciones y propuestas de mejora (PM), emitidas, resueltas o pendientes de resolución.

En base a la estructura y el grado de implantación que tenga cada programa, la documentación generada para definir cada programa (PGE) constará de al menos:

- Documento de evaluación que recoja el proceso de conciliación con el programa modelo (en todos los casos)
- Manual de programa de gestión del envejecimiento (recoje de manera detallada el programa definido para la gestión de envejecimiento)

En cada uno de los PGE desarrollados, las centrales nucleares españolas definen los parámetros a monitorizar o inspecciones a aplicar para la gestión del envejecimiento de los componentes incluidos en el alcance del mismo. Los PGE se implementan mediante procedimientos y gamas existentes en planta o actividades de nueva creación. La intención de los programas es detectar de forma anticipada las degradaciones que puedan afectar a los componentes o aplicar las acciones preventivas o de mitigación que eviten, en la medida de lo posible, el desarrollo de los efectos de envejecimiento.

El mayor número de actividades de gestión del envejecimiento está asociado a programas de inspección donde la situación real del componente o estructura es verificada por un ensayo no destructivo (visual, superficial o volumétrico). En las centrales nucleares españolas estas actividades están ya incluidas en programas preexistentes, como:

- Programa de Inspección en Servicio: basado en la aplicación de la Instrucción del CSN IS-23.
- Programa de internos de la vasija: basado en programas desarrollados por EPRI para las tecnologías PWR (MRP) y BWR (BWR).
- Programa de erosión-corrosión: este programa está dirigido al control del estado de los

sistemas de tuberías potencialmente afectados por mecanismos de corrosión asistida por el flujo (FAC) y erosión-corrosión.

- Programa de vigilancia de estructuras: este programa, basado en la Regla de Mantenimiento, está soportado principalmente en inspecciones visuales.

En otros casos se establecen programas de monitorización de parámetros a través de los cuales, mediante un análisis de tendencias, se trata de anticiparse a posibles degradaciones con el objetivo de tomar acciones antes de que se produzca una pérdida de la función propia del componente o estructura.

Para lo cual, en el Plan de Gestión de Vida (PGV) de las centrales nucleares españolas se incluyen actualmente, entre otros, los siguientes programas:

- Programa de control químico: la vigilancia y mantenimiento dentro de sus criterios de aceptación de los parámetros químicos de las especificaciones de agua y otros fluidos de proceso, tales como el gasoil y el aceite, para prevenir posibles mecanismos de corrosión desarrollados por el contacto del material con el fluido de proceso.
- Programa de vigilancia de condiciones ambientales: definido principalmente para el control de la calificación ambiental de equipos eléctricos, permite evaluar las condiciones reales en las que se encuentran estos equipos frente a las consideradas en su proceso de calificación ambiental.
- Seguimiento de transitorios operacionales que permite evaluar la operación real de la planta frente a las hipótesis de diseño, para

asegurar que el factor de uso de fatiga, de acuerdo con las bases de diseño, se mantiene por debajo de los límites admisibles.

El Artículo 4.2.d) de la Instrucción IS-22 requiere que tras el desarrollo e implantación del PGV debe establecerse un plan de seguimiento encaminado a asegurar la efectividad de los programas de gestión del envejecimiento.

*«El titular deberá llevar a cabo un seguimiento de los resultados de la implantación de los PGE, para valorar su efectividad y aplicar en su caso las mejoras derivadas de dicho seguimiento».*

Así mismo, en el NUREG-1800 se indica que, los PGE deben considerarse programas VIVOS por lo que deben disponer de mecanismos para poder *aprender* y aplicar la experiencia adquirida en su propia aplicación, es decir, ver cómo está funcionando el PGE y tratar de mejorarlo.

Actualmente, las centrales españolas realizan la evaluación periódica de los resultados de la implantación de los diferentes programas de gestión del envejecimiento, y la medida de la efectividad de las actividades definidas para dicha gestión, mediante informes de seguimiento periódicos de cada PGE, con una periodicidad que varía en función de la frecuencia de las actividades. En dichos informes de seguimiento se recogen los resultados de las actividades del PGE y una evaluación de éstos, así como la identificación y análisis de la experiencia operativa interna y externa que pudiera haber afectado al PGE.

Con respecto a la evaluación de la efectividad de los PGE, todas las centrales nucleares es-

pañolas disponen de procesos de evaluación mediante indicadores específicos de cada central, para los que se tienen en cuenta entre otros parámetros: la realización o no de las actividades establecidas en el PGE, los resultados de dichas actividades y el impacto de las experiencias operativas relacionadas con dicho PGE.

### **Análisis de Envejecimiento en Función del Tiempo (AEFT)**

Como se indica en el apartado 6 de esta monografía, los AEFT son cálculos o análisis que, formando parte de la documentación de licencia, afectan a ESC dentro del alcance del PGV y están basados en hipótesis de un tiempo de operación limitado para justificar la capacidad de dichos ESC para cumplir con su función propia.

Conforme a la Instrucción IS-22, los titulares de las centrales deben identificar, para la primera solicitud de renovación de autorización de explotación por un periodo que supere su vida de diseño (es decir entrada en OLP), todos los análisis y cálculos realizados que cumplen las seis siguientes condiciones:

- Están relacionados con las estructuras, sistemas y componentes (ESC) consideradas dentro del alcance de la gestión del envejecimiento.
- Tienen en cuenta los efectos del envejecimiento en el tiempo.
- Mantienen hipótesis de vida de diseño limitada.
- Concluyen con la existencia de capacidad o no de las ESC para seguir funcionando, de

acuerdo con sus funciones definidas, tras haber sobrepasado las hipótesis de vida de diseño limitada.

- El cálculo o análisis fue considerado relevante por el titular en alguna evaluación de seguridad.
- El cálculo o análisis forma parte de las bases de licencia actuales de la instalación.

En la práctica los cálculos y análisis que cumplen esas condiciones se agrupan de la forma siguiente:

- AEFT asociados a la fragilización neutrónica de la vasija del reactor.
- AEFT asociados a fatiga metálica
- AEFT asociados a la calificación ambiental
- AEFT asociados a la tensión de los tendones de la contención (si aplica)
- AEFT de fatiga de la contención metálica y de las penetraciones
- Otros AEFT específicos de planta (grúas, *Leak Before Break*, etc.)

Una vez identificados los Análisis de Envejecimiento en Función del Tiempo (AEFT) se deben resolver mediante alguno de los métodos siguientes conforme a la IS-22:

- 1) Verificar que los análisis y cálculos actuales siguen siendo válidos para el nuevo periodo de operación solicitado y, por tanto, no es preciso llevar a cabo un nuevo análisis.
- 2) Reevaluar o rehacer los análisis y cálculos actuales para el nuevo periodo de operación solicitado y verificar que se cumplen los criterios de aceptación establecidos.

3) Demostrar que los efectos del envejecimiento pueden ser gestionados de forma adecuada durante el nuevo período de operación solicitado mediante un programa de gestión del envejecimiento.

En los análisis originales de diseño de cada componente se contemplan una serie de condiciones operacionales u otras consideradas en el diseño en las que se basa la vida de diseño.

De manera resumida, estos análisis consisten en verificar la validez de los análisis de diseño para el nuevo periodo de operación basándose en los datos reales en vez de en los inicialmente estimados en el diseño, de forma que si las condiciones a las que han estado expuestos los componentes han sido menos adversas que las consideradas en el diseño, su vida definida puede extenderse.





SIGLAS Y  
ACRÓNIMOS

### SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AEFT:	Análisis de Envejecimiento en Función del Tiempo
AyS:	Alcance y selección
CSN:	Consejo de Seguridad Nuclear
EPRI:	Electric Power Research Institute (entidad de la industria americana)
INPO:	Institute of Nuclear Power Operations (entidad de la industria americana)
IS:	Instrucción del Consejo de Seguridad Nuclear (se publican en el BOE)
ITC:	Instrucción Técnica Complementaria (las emite el CSN a un titular concreto)
LR-ISG:	License Renewal Interim Staff Guidance
NRC:	US Nuclear Regulatory Commission
OLP:	Operación a Largo Plazo
PIEGE:	Plan Integral de Evaluación de la Gestión del Envejecimiento
PGE:	Plan de Gestión del Envejecimiento
PGV:	Plan de Gestión de Vida
P-T:	Presión-Temperatura
RGE:	Revisión de la Gestión del Envejecimiento
RPS:	Revisión Periódica de la Seguridad
WANO:	World association of Nuclear Operators



## Monografías

Comité Asesor para la Información  
y Participación Pública

