

IGALL, factor clave en la operación a largo plazo de centrales nucleares

M. Á. Calatayud y J. Sainero

El control del envejecimiento es un factor clave en la extensión de vida de centrales nucleares así como durante la vida licenciada; IGALL (International Generic Ageing Lessons Learned) es una guía de referencia internacionalmente aceptada de cómo llevar a cabo este control. Conocer las razones que han motivado el lanzamiento de este proyecto, los resultados obtenidos, como se han alcanzado y el acceso público a ellos para su uso futuro por las centrales nucleares, son el objetivo de este artículo.

The ageing management is a key factor during the Long Term Operation of Nuclear Power Plants and also during the licensed period; IGALL is an international accepted reference guide that shows how to manage it. The knowledge of the reasons to develop this project, how the results have been reached and the public access to them for future use of the Nuclear Power Plants, are the purpose of this article.

INTRODUCCIÓN

Solamente 45 nuevos reactores han sido conectados a la red durante el periodo comprendido entre los años 2000-2011; en el último año de este periodo, 289 reactores en el mundo estaban en operación más de 25 años. De seguir esta tendencia, la capacidad del parque nuclear mundial caerá dramáticamente durante la próxima década, estimándose que en el año 2030 cerca de 160 reactores actualmente en operación, podrían estar parados tras alcanzar su vida de diseño. El ritmo de construcción de nuevas centrales nucleares no es de esperar que se incremente; tras el incidente de Fukushima Daichi, la industria nuclear se ha replanteado las bases de licencia tanto de las centrales nucleares existentes como de los nuevos diseños, lo cual puede producir una desaceleración en el ritmo existente de construcción de nuevas centrales nucleares.

Existe un límite legal para la operación de una central nuclear, debiéndose obtener informes favorables durante la Revisión Periódica de Seguridad (RPS) para poder alcanzar el límite de operación legalmente establecido, momento en el cual, algunos países se han planteado la Operación a Largo Plazo (OLP) como alternativa a la construcción de nuevas centrales nucleares, para de esta forma mantener la producción eléctrica a un precio bajo y estable, que sirva de base para

la estabilidad del sistema eléctrico de cada país.

En este contexto, se plantea la OLP de centrales nucleares, debiendo tener en cuenta varios factores, entre los que se encuentra la viabilidad económica del proyecto. Esta viabilidad económica puede estar influenciada en mayor o menor grado, por factores como el mix energético, predicción futura del precio y demanda de la electricidad, opinión pública, incertidumbre política, etc.; el análisis de estos factores determinaran la viabilidad del proyecto de OLP de una central existente frente a la construcción de una nueva central nuclear [1].

Uno de los principios [2] para la OLP de una central nuclear, se refiere a que el proceso regulador es adecuado para mantener la operación segura de la central nuclear, y esta centrado en aquellos efectos de envejecimiento que es necesario manejar de manera adecuada para el periodo OLP establecido. En este nuevo periodo, se debe garantizar que el envejecimiento de Estructuras Sistemas y Componentes (ESC) relacionados con la seguridad, no comprometa su función durante el nuevo periodo.

En EEUU el proceso de renovación de licencia se concretó en 1995 con la publicación del 10 CFR Part 54 [3] y posteriormente con la guía NEI 95-10 [4] y RG-1.188 [5]. El informe GALL (Generic Aging Lessons Learned) [6], contiene una evaluación genérica de



MIGUEL ÁNGEL CALATAYUD MATEO es ingeniero industrial por la UPV. Trabaja en la Unidad de Generación Nuclear Iberdrola Ingeniería, responsable de la Sección Eléctrica e I&C en CN Cofrentes desde el año 2002, presidente WG2 y miembro del comité ejecutivo del proyecto IGALL. Experto externo en misiones SALTO del OIEA.



JOAQUÍN SAINERO GARCÍA es ingeniero industrial por la ETSII de Madrid. Actualmente en la Unidad de Generación Nuclear de Iberdrola Ingeniería y Construcción donde es responsable de proyectos de gestión de vida de centrales nucleares. Participa en la aportación española al IGALL.

los programas de mantenimiento, vigilancia e inspección habituales en una central nuclear y proporciona las bases técnicas para la gestión de envejecimiento, elemento clave en el proceso de renovación de licencia.

La Guía de Seguridad de la OIEA NS-G-2.12 [7] y el Informe de Seguridad SRS No. 57 [2], son los documentos metodológicos del OIEA dedicados específicamente a la gestión del envejecimiento y las actividades de la operación a largo plazo.

ESTABLECIMIENTO DE UNA BASE COMÚN. PROGRAMA IGALL

Durante la reunión técnica organizada en Viena por el OIEA en mayo de 2009 sobre *Lecciones Genéricas Aprendidas sobre el Envejecimiento*, se puso de manifiesto entre los participantes la necesidad, de establecer una base técnica y guía práctica para la gestión del envejecimiento y operación a largo plazo, concluyéndose como acciones a desarrollar:

- La recopilación de las mejores prácticas existentes y el conocimiento a nivel mundial relativo a programas de gestión del envejecimiento para ESC relacionados con la seguridad, para poder así desarrollar un informe equivalente al GALL con carácter internacional, *International Generic Ageing Lessons Learned* (IGALL). Este documento debería servir como guía práctica a los estados miembros para implementar, mantener y mejorar sus Programas de Gestión del Envejecimiento (PGE).
- Establecer a través del IGALL una base común de discusión entre reguladores y operadores con respecto a la implantación de PGE.

LANZAMIENTO Y DESARROLLO DEL PROGRAMA IGALL

Organización del proyecto

En respuesta a estas conclusiones el OIEA lanzó el programa extrapresupuestario IGALL, cuyo principal objetivo fue desarrollar una herramienta que permitiese la evaluación sistemática de la revisión de la gestión del envejecimiento, para ello se establecieron como objetivos:

- El informe IGALL deberá ser la guía donde se identifiquen, de acuerdo con el “estado actual del arte”, los PGE recomendables.
- IGALL deberá ser la base para la implantación de PGE para centrales nucleares con diversas tecnologías de reactores de agua como moderador (PWR, VVER, BWR, Candu, PHWR).
- IGALL deberá ser un documento fundamental para soportar el en-

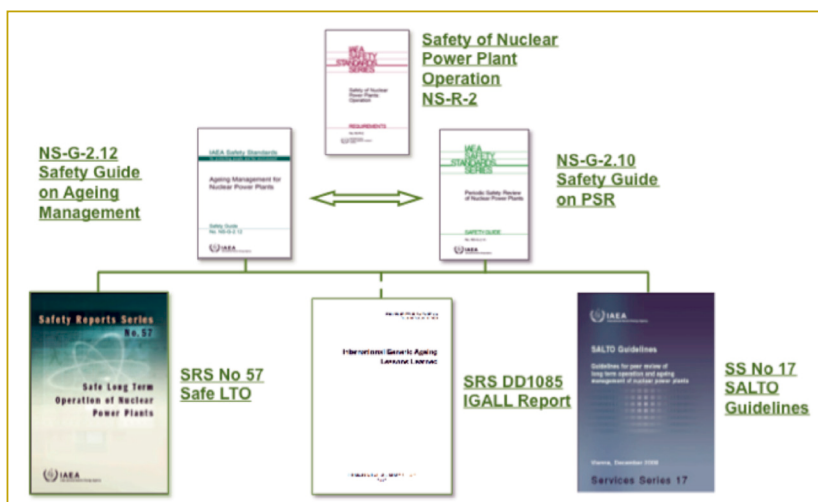


Figura 1. Guías de la OIEA para gestión de envejecimiento.

Argentina	Francia	Federación Rusa	EEUU
Bélgica	Alemania	República Eslovaca	República Checa
Brasil	Hungría	España	Ucrania
Canadá	India	Suecia	México
China	Japón	Suiza	OECD-NEA
UE-JRC			

Figura 2. Participantes proyecto IGALL.

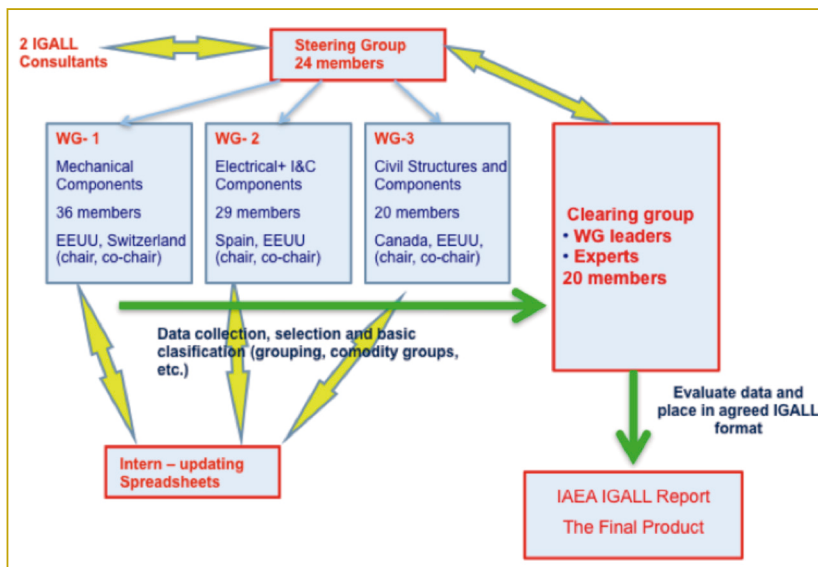


Figura 3. Organización proyecto IGALL.

foque sistemático de la gestión del envejecimiento de estructuras y componentes según se describe en la Guía de Seguridad NS-G-2.12 [7].

- IGALL deberá establecer un modelo común de partida para la discusión entre reguladores y operadores sobre lo que se considera un PGE aceptable.
- IGALL deberá ser un documento vivo, asegurándose que su actualización se realiza al menos cada cinco años.

A estos objetivos ha de añadirse el acuerdo de considerar el informe GALL

[6] desarrollado por la NRC, como modelo guía a seguir en el desarrollo del IGALL.

La edición del IGALL completaría las guías de seguridad existentes del OIEA, para gestión del envejecimiento, quedando como se indica en la Figura 1.

En el proyecto han participado un total de 19 países además de representantes de la Unión Europea representados por JRC y OECD-NEA (Figura 2).

La organización del proyecto se muestra en la Figura 3, estando defi-

nidas en los términos de referencia las funciones y responsabilidades de cada uno de estos grupos.

El establecimiento de un marco común de partida, ha supuesto debido al elevado numero de países participantes un reto en el desarrollo del IGALL. Estos problemas se han resuelto, entre otros, gracias a la composición homogénea de los grupos de trabajo, con participación de organismos reguladores, operadores e ingenierías. Otro factor importante, a la hora de establecer este marco común, ha sido la existencia de normativa de referencia común en los países participantes, como ha sido normativa de la NRC, CNA, CNSC, KTA, JNES, OIEA así como los estándares aceptados por ellas [8].

El informe IGALL incluye: tablas de Revisión de Gestión del Envejecimiento (RGE), Programas de Gestión de Envejecimiento (PGE) y Análisis de Envejecimiento Función de Tiempo (TLAA).

Tablas de revisión de gestión del envejecimiento

Determinadas las tecnologías (PWR, BWR, Candu-PHWR) alcance del IGALL, cada *Working Group* clasificó para su análisis las ESC importantes de estas tecnologías en las categorías que se muestran en la Tabla 1.

Para cada una de estas categorías se desarrolló una tabla RGE incluyendo los siguientes campos:

- **System:** sistema al que pertenece la estructura o componente evaluado.
- **Structure/component:** estructura o componente evaluado.
- **Ageing effect/degradation mechanism:** efecto y mecanismo de envejecimiento cuyo desarrollo podría afectar al cumplimiento de la función

# IGALL number	Table number	Systems	Structure/Component	Ageing effect/degradation mechanism	Critical Location/Part	Material
1	101	Reactor pressure vessel, internal, reactor coolant system	Main circulation loop/ piping	Cracking due to stress corrosion cracking	Class 1 piping, piping components, and piping elements	Cast austenitic stainless steel
2	101	Reactor pressure vessel, internal, reactor coolant system	Pump/ valves	Loss of fracture toughness due to Thermal ageing embrittlement	Class 1 pump-casing, valve bodies and bonnets	Cast austenitic stainless steel
3	101	Reactor pressure vessel, internal, reactor coolant system	Pump/ valves	Cracking due to stress corrosion cracking	Class 1 pump-casing, valve bodies	Steel (with stainless steel cladding), stainless steel
4	101	Reactor pressure vessel, internal, reactor coolant system	Main circulation loop/ piping	Cracking due to stress corrosion cracking	Closure bolting	High-strength, low-alloy steel, stainless steel
5	101	Reactor pressure vessel, internal, reactor coolant system	Main circulation loop/ piping	Loss of preload due to thermal effects, gasket creep, and self-loosening	Closure bolting	Low alloy steel, stainless steel
6	101	Reactor pressure vessel, internal, reactor coolant system	Pressurizer	Cumulative fatigue damage due to fatigue	Pressurizer relief tank: tank shell and heads, flanges, nozzles	Steel (with stainless steel or nickel alloy cladding)
7	101	Reactor pressure vessel, internal, reactor coolant system	Main circulation loop/ piping	Loss of material due to boric acid corrosion	External surfaces	Steel

Figura 4. Imagen de acceso a los datos públicos RGE.

- importante para la seguridad requerida a la estructura o componente.
- **Critical location/part:** localización dentro de la estructura o componente donde se manifiesta el efecto/mecanismo de envejecimiento.
- **Material:** material constructivo de la estructura o componente afectado por el mecanismo de envejecimiento.
- **Environment:** ambiente en contacto con la estructura o componente y condicionante en el desarrollo del efecto/mecanismo de envejecimiento.
- **Ageing Management Programme:** programa existente en planta y probado en la gestión del efecto/mecanismo de envejecimiento.
- **Futher Actions:** TLAA. Análisis de envejecimiento función del tiempo asociado al diseño o licenciamiento de la estructura o componente u otra acción que complementará la gestión de efecto o mecanismo del

envejecimiento durante el periodo extendido de operación.

- **Remarks:** comentarios adicionales a la evaluación de la estructura o componente.
- **Design:** tecnología aplicable (PWR, VVER, BWR, Candu-PHWR).

Estas tablas se han desarrollado tomando como base, las incluidas en el GALL [6], para las cuales cada estado miembro participante ha proporcionado su propia evaluación por medio de la comparación de su experiencia con lo indicado en el GALL. En aquellos casos donde no existía una completa coincidencia, se ha generado una nueva línea de evaluación, identificada adicionalmente con un código asociado al país que ha aportado la información.

Las tablas RGE del IGALL, puede ser utilizadas como base acordada internacionalmente de lo que constituye un probado PGE o TLAA para una ESC cuyo envejecimiento esta determinado por los campos anteriores.

WG- 1 Componentes Mecánicos	WG- 3 Estructuras y Elementos Estructurales
1. PWR Class 1 Components 2. BWR Class 1 Components 3. CANDU PHWR Class 1 Components 4. PWR Non Class 1 Components 5. BWR Non Class 1 Components 6. CANDU PHWR Non Class 1 Components 7. Generic Cross-cutting (Structural Components) 8. Generic Non Class 1 Components	1. Structures (BWR Reactor Bldg. PWR Shield Bldg., Control Room/Bldg.). 2. Structures (PWR Reactor Bldg. with Steel Superstructure, VVER Steel Superstructure). 3. Structures (Auxiliary Bldg., Diesel Generator Bldg., Radwaste Bldg., Turbine Bldg., Switchgear Room, Yard Structures, such as AFW Pumphouse, Utility/Piping Tunnels, Security/Lighting Poles, Manholes, Duct Banks; SBO Structures, such as Transmission Towers, Startup Towers Circuit Breaker Foundation, Electrical Enclosure). 4. Structures (Containment Internal Structures, excluding Refueling Canal). 5. Structures (Fuel Storage Facility, Refueling Canal). 6. Structures (Water-Control Structures). 7. Structures (Concrete Tanks and Missile Barriers). 8. Structures (Steel Tanks and Missile Barriers). 9. Structures (BWR Unit Vent Stack) Supports for ASME Piping and Components.
WG- 2 Componentes Eléctricos e I&C	
1. Electrical Components – Environmental Qualified 2. Electrical Components – No Environmental Qualified 3. I&C Components – Environmental Qualified 4. I&C Components – No Environmental Qualified	

Tabla 1. Categorías de Revisión de Gestión del Envejecimiento.

1. Alcance del PGE	Basado en un entendimiento de los fenómenos de envejecimiento tratados.
2. Acciones preventivas	Dirigida para minimizar y controlar la degradación por envejecimiento
3. Detección de los efectos del envejecimiento	Parámetros y tecnología utilizada para identificación y evaluación del efecto/mecanismo de envejecimiento.
4. Vigilancia y tendencia de los efectos del envejecimiento	Indicadores de condición y métodos de seguimiento.
5. Mitigación de los efectos del envejecimiento	Acciones dirigidas a mitigar la degradación una vez ha sido detectada
6. Criterios de aceptación	Definen la necesidad de una acción correctora o evaluación.
7. Acciones correctoras	Acciones tomadas cuando no se verifica un criterio de aceptación
8. Realimentación de la experiencia operativa	Experiencia operativa relevante en la aplicación de las actividades del PGE
9. Control de calidad	Control administrativo y documental de las actividades del PGE.

Tabla 2. Atributos de Programa de Gestión del Envejecimiento Efectivo.



Figura 5. Imagen de acceso a los datos públicos PGE.

El acceso público a estos resultados se encuentra en IGALL Database [9], donde es posible acceder a las tablas RGE que reflejan el resultado de los análisis realizados basados en las aportaciones de los países participantes; el acceso restringido permite la consulta tanto de los datos públicos como de las aportaciones de los distintos países miembros, basado en prácticas probadas, que soportan ese análisis (Figura 4).

Programas de gestión del envejecimiento

Cada uno de los programas de gestión del envejecimiento identificado en las tablas RGE ha sido definido sobre la base de los atributos de un PGE definidos en la guía del OIEA NS-G-2.12 [7] y que se muestran en la Tabla 2.

Se definieron un total de 76 programas de gestión del envejecimiento,

distribuidos según los Working Groups en: 47 PGE relacionados con componentes mecánicos; 16 PGE relacionados con componentes eléctricos y de I&C; y 13 PGE asociados a estructuras y elementos estructurales (Figura 5).

La lista completa de todos los programas de gestión de envejecimiento se encuentra en el informe IGALL [11], no obstante al igual que ocurría con las tablas RGE, todos los programas desarrollados se encuentran disponibles a través de IGALL Database [9], los cuales son de acceso público.

Análisis de envejecimiento función de tiempo

El tercer producto incluido en el informe IGALL es el resultado de la identificación de los análisis de envejecimiento en función del tiempo (TLAA), típicos en cada una de las tecnologías tratadas en el IGALL, y la

discusión en cada un de estos TLAA de su tratamiento frente los requisitos de la operación a largo plazo.

Un TLAA, para considerarse como tal, debe cumplir con los siguientes atributos:

- Relativos a sistemas, estructuras y componentes en el alcance de la OLP.
- Considera efectos de envejecimiento.
- Considera hipótesis de tiempo definidas por el actual periodo de operación.
- Son considerados relevante en los análisis de seguridad requeridos por la regulación del país.
- Incluyen conclusiones o proporcionan las bases para conclusiones relativas a la capacidad de ESC para cumplir con su función(es) de seguridad.
- Están contenidos o incorporados por referencia en las bases de licencia actuales.

Se han definido 27 TLAA (22 para WG-1, 1 para WG-2 y 4 para WG-3).

Los tres elementos indicados RGE, PGE y TLAA constituyen los elementos claves que deben desarrollarse/revalidarse para garantizar que los mecanismos de envejecimiento no afectarán a las ESC relacionados con la seguridad, durante la OLP, dichos elementos forman parte de la guía de seguridad IGALL, aunque únicamente están incluidas en dicho documento por referencia a la IGALL Database [9]. La guía de seguridad IGALL contiene las directrices para un correcto uso de la información antes mencionada, para ello el contenido del documento esta estructurado en:

1. Introduction.
 2. Ageing Management Review.
 3. Ageing Management Programmes.
 4. Time Limited Ageing Analyses.
 5. Definitions.
- Appendix I. List of IGALL Ageing Management Programmes.
Appendix II. List of IGALL Time Limited Ageing Analyses.
Appendix III. Definitions for Structures and Components, Materials, Environments, Ageing Effects and Degradation Mechanisms.
References.
Contributors to Drafting and Review.

FUTURO PROGRAMA IGALL

El IGALL desde las primeras reuniones en las que se trazó su alcance y modo de desarrollo, ha sido entendido como un programa vivo que va más allá de la edición de un informe de recomendaciones y buenas prácticas. Así el programa IGALL tiene en su continuidad como objetivos:

- a). Proporcionar un *fórum* de intercambio de experiencias y soporte a los estados miembros en la aplicación del IGALL como herramienta para gestionar la gestión de envejecimiento y la operación segura a largo plazo.
- Organizar misiones y *workshops* para explicar a reguladores y licenciarios la aplicación del IGALL.
 - Asistir a los miembros estados en la aplicación del IGALL en plantas pilotos (PWR, WWR, BWR, CANDU/PHWR). *Workshops* del OIEA, reguladores e Industria.
 - Compartir esta experiencia con otros estados miembros con la misma tecnología.
- b). Mejorar el contenido del programa IGALL (experiencia operativa, desmantelamiento, nuevas tecnologías, etc.).
- Nuevos datos sobre componentes mecánicos (Candu, WWR) y componentes activos eléctricos e I&C.
 - Verificar la aplicabilidad del IGALL para el periodo entre la parada final y el momento en el que la central está libre de combustible.
 - Actualizar el IGALL con nuevas experiencias operativas y experiencias de países miembros.
 - Organizar grupos de trabajo para resolver tareas específicas e introducir nuevos datos.

Para ello se ha establecido una nueva organización que permita la actualización del IGALL, y cuyas líneas general son:

- El informe IGALL se revisará periódicamente cada cinco años.
- Las tablas de gestión del envejecimiento se revisarán periódicamente cada dos años.
- Se mantiene el Comité Ejecutivo, formado por un miembro por país.
- El Comité Ejecutivo mantendrá reuniones periódicas anuales.
- Se crearán grupos de trabajo reducidos para acometer mejoras puntuales, coordinadas por el Comité Ejecutivo.

REFERENCIAS

- [1] The Economics of Long Term Operation of Nuclear Power Plants. NEA ISBN 978-92-64-99205-4.
- [2] "Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants" Safety Report N° 57. IAEA.
- [3] 10 CFR Part 54 Requirements for Renewal of Operating Licenses for Nuclear Power Plants. May 1995.
- [4] Nuclear Energy Institute Industry Guideline For Implementing - The Requirements of 10 CFR Part 54- The License Renewal Rule. NEI 95-10 rev 6 June 2005.

- [5] Regulatory Guide 1.188 Standard Format and Content for Applications to Renew Nuclear Power Plant Operating Licenses. April 2001.
- [6] NUREG 1801. Rev. 2, Generic Aging Lessons Learned.
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.12, IAEA, Vienna (2009).
- [8] International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL) for Nuclear Power Plants – Approaches to Ageing Management in Member States. IAEA, Vienna (2013).
- [9] <http://gnssn.iaea.org/NSNI/PoS/IGALL/SitePages/Home.aspx>.
- [10] Nuclear regulatory commission, Title 10 Code of Federal Regulations Part 50.65 'Requirements for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants'. Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration, Washington D.C. (1995).
- [11] International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL) for Nuclear Power Plants. ■