

III. OTRAS DISPOSICIONES

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

- 212** *Resolución de 26 de diciembre de 2023, del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se publica el Convenio con la Universitat Politècnica de Catalunya, para el desarrollo del proyecto de I+D+i Ithem («Técnicas de incertidumbre, termohidráulica avanzada y escalado en metodología de análisis de accidentes»).*

El Presidente del Consejo de Seguridad Nuclear y el Rector de la Universitat Politècnica de Catalunya, han suscrito, con fecha 22 de diciembre de 2023, el Convenio entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universitat Politècnica de Catalunya para el desarrollo del proyecto de I+D+i Ithem («Técnicas de incertidumbre, termohidráulica avanzada y escalado en metodología de análisis de accidentes»).

Para general conocimiento, y en cumplimiento de lo establecido en el artículo 48.8 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público, dispongo la publicación en el «Boletín Oficial del Estado» del referido convenio, como anejo a la presente resolución.

Madrid, 26 de diciembre de 2023.—El Presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Juan Carlos Lentijo Lentijo.

ANEJO

Convenio entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universitat Politècnica de Catalunya para el desarrollo del proyecto de I+D+i Ithem («Técnicas de incertidumbre, termohidráulica avanzada y escalado en metodologías de análisis de accidentes»)

REUNIDOS

De una parte: Don Juan Carlos Lentijo Lentijo, Presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (en adelante CSN), cargo para el que fue nombrado por el Real Decreto 275/2022 de 12 de abril (BOE número 88 de 13 de abril de 2022), en nombre y representación del mismo, y en el ejercicio de las competencias que le atribuye el artículo 36 del Estatuto del Consejo de Seguridad Nuclear, aprobado por Real Decreto 1440/2010, de 5 de noviembre, y con domicilio en la calle Justo Dorado n.º 11 de Madrid y NIF Q2801036-A.

De otra parte: El Prof. don Daniel Crespo Artiaga, Rector de la Universitat Politècnica de Catalunya (en adelante UPC), en virtud del nombramiento efectuado por Decreto 115/2021, de 1 de junio (publicado en el DOGC núm. 8424, de 3 de junio de 2021), con sede social en la calle Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona y con NIF Q-0818003F, en representación de esta institución, de conformidad con las competencias que le otorgan el artículo 50 de la Ley Orgánica 2/2023, de 22 de marzo, del Sistema Universitario y los artículos 67, 68 y 169 de los Estatutos de la Universitat Politècnica de Catalunya, aprobados por el Acuerdo GOV/43/2012, de 29 de mayo (DOGC núm. 6140, de 1 de junio de 2012).

Ambos intervienen para la realización de este acto por sus respectivos cargos y en el ejercicio de las facultades que, para convenir en nombre de las entidades a que representan, tienen conferidas y, a tal efecto,

EXPONEN

Primero.

Que el CSN, como único organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, tiene legalmente asignada la función de inspeccionar y controlar el funcionamiento de las instalaciones nucleares de todo el territorio nacional con el fin de que el funcionamiento de dichas instalaciones no suponga riesgos indebidos.

Segundo.

Que el CSN suscribe el presente convenio en el ejercicio de las funciones que le atribuye su Ley de Creación (Ley 15/1980, de 22 de abril) en su artículo 2, entre otras, para emitir informes relativos a la seguridad nuclear, llevar a cabo la inspección y control de las instalaciones nucleares, y establecer y efectuar el seguimiento de planes de investigación en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

Tercero.

Que el Plan de I+D+i del CSN para el periodo 2021-2025 establece como línea de investigación dentro del ámbito de la seguridad nuclear las «Metodologías de análisis de seguridad», dentro de la cual se enmarca el proyecto de I+D objeto de este convenio.

Cuarto.

Que la UPC, como institución de derecho público, tiene atribuida, entre otras, la función de colaborar con las administraciones públicas, instituciones y entidades privadas con la finalidad de elaborar, participar y desarrollar planes de acciones que contribuyan al progreso de la ciencia, de la difusión de la cultura y el desarrollo de la sociedad, y está interesada en colaborar con los sectores científicos y socioeconómicos de nuestro país.

Quinto.

Que el CSN y la UPC firmaron un Convenio Marco de Colaboración con fecha 3 de octubre de 2002 que, entre otros temas, incluye el establecimiento de planes conjuntos de investigación en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, conformes con las misiones y capacidades de ambas entidades.

Sexto.

Que el CSN y la UPC han colaborado en el pasado para el desarrollo de diversos proyectos de investigación dedicados al desarrollo de metodologías avanzadas de análisis de seguridad. Todos estos proyectos se han desarrollado de forma satisfactoria tanto para el CSN como para la UPC.

Séptimo.

Que, a la vista de los excelentes resultados obtenidos hasta ahora, el CSN y la UPC consideran conveniente continuar realizando actividades conjuntas de investigación, encaminadas a profundizar en el ámbito de la termohidráulica avanzada, el tratamiento de incertidumbres en análisis de accidentes y metodologías de escalado.

Octavo.

Que el convenio supone una cooperación entre el CSN y la UPC con la finalidad de garantizar que los servicios públicos que les incumben se prestan de modo que se logren los objetivos que tienen en común; y que el desarrollo de dicha cooperación se guía únicamente por consideraciones relacionadas con el interés público.

Noveno.

Que las partes consideran que la colaboración entre ellas en este campo contribuirá al mejor cumplimiento de los objetivos propios de cada una de ellas, y aumentará el conocimiento científico y técnico en este ámbito en beneficio de ambas.

Por todo ello, las partes convienen en formalizar el presente convenio con sujeción a las siguientes

CLÁUSULAS

Primera. *Objeto.*

El objetivo general de este convenio es la realización de actividades encaminadas a asimilar, desarrollar y validar métodos y capacidades de evaluación en el área de termohidráulica y análisis de accidentes para su aplicación por el CSN en las actividades de evaluación que le son propias y que requieren de estos conocimientos.

La finalidad última que se persigue con este convenio es contribuir a la obtención de una base sólida de conocimiento y de los métodos de análisis adecuados que sustenten la calidad y rigor de las evaluaciones técnicas del CSN, así como consolidar la competencia investigadora de la UPC en materia de seguridad nuclear. Los objetivos del presente convenio se concretan en el siguiente conjunto de subproyectos:

I) Estudio de metodologías de generación de distribuciones de probabilidad de parámetros inciertos en modelos físicos mediante métodos inversos de propagación de incertidumbres. Participación en el proyecto ATRIUM de NEA/OCDE.

II) Análisis de escalado de instalaciones experimentales. Evaluación de la influencia de la escala sobre los parámetros más relevantes en relación con los límites de diseño de las centrales nucleares.

III) Desarrollo y validación de métodos BEPU para análisis de accidentes en Seguridad Nuclear.

IV) Exploración de metodologías avanzadas de análisis de seguridad integrando análisis probabilista y determinista, con aplicación al análisis de casos DEC-A.

V) Implicaciones de la introducción de combustibles tolerantes a accidentes (ATF) en situaciones de reinundación de núcleo.

VI) Apoyo al CSN en sus tareas de evaluación, cuando se considere necesario.

El alcance de las actividades que se estiman necesarias para alcanzar estos objetivos se detalla en la Memoria Técnica que se adjunta a este convenio como Anexo 1.

Segunda. *Obligaciones de las partes.*

Son obligaciones de la UPC dentro de este convenio:

– Realizar las actividades que se describen en la Memoria Técnica (Anexo 1) que se adjunta, relacionadas con los objetivos descritos en la cláusula primera.

– Poner a disposición del convenio el personal necesario para garantizar la máxima calidad de los trabajos en él incluidos. En caso de ser necesario un esfuerzo de personal mayor del que se ha estimado en el momento de la firma del convenio, las partes podrán revisar los términos del mismo.

- Contribuir a la financiación de los costes del convenio en la forma que se describe en la cláusula cuarta.
- Poner a disposición del CSN los resultados, métodos, códigos, metodologías, y, en general, toda la información que se genere durante la realización de las actividades objeto de este convenio.
- Documentar los trabajos realizados dentro del convenio, en la forma que se describe en la Memoria Técnica (Anexo 1 a este convenio).

Son obligaciones del CSN dentro de este convenio:

- Contribuir a la financiación de los gastos del convenio en la forma que se describe en la cláusula cuarta.
- Poner a disposición de la UPC los datos e información de que disponga y que pudieran ser necesarios para la realización de los trabajos.
- Aportar horas de dedicación del personal técnico que pondrá su conocimiento a disposición de los equipos de expertos, dirigiendo y supervisando las tareas y trasladando la visión reguladora durante todo el desarrollo del proyecto.

Tercera. *Responsabilidad.*

Las consecuencias aplicables en caso de incumplimiento de las obligaciones y compromisos asumidos por cada una de las partes en el presente convenio y, en su caso, los criterios para determinar la posible indemnización por el incumplimiento se determinarán teniendo en cuenta las circunstancias concurrentes.

Cuarta. *Financiación.*

El coste total del convenio comprenderá las partidas indicadas en la Memoria Económica que se adjunta como anexo 2 de este convenio, donde se detallan los costes asociados a cada actividad. Con arreglo a las cantidades que figuran en dicha Memoria, el presupuesto total previsto para el proyecto durante la vigencia del mismo asciende a seiscientos noventa y nueve mil seiscientos cuarenta y cuatro euros con treinta y cinco céntimos (699.644,35 euros), impuestos incluidos.

El CSN aportará la cantidad de cuatrocientos nueve mil trescientos cincuenta y dos euros con treinta y cinco céntimos (409.352,35 euros), que corresponde a un 58,5 % del total citado. La UPC aportará doscientos noventa mil doscientos noventa y dos euros (290.292,00 euros), que supone un 41,5 % del coste total.

La distribución de la contribución del CSN se establece en aportaciones anuales, correspondiendo a la aplicación presupuestaria con código 20.302.424M.640, abonándose cada uno de los pagos tras la correspondiente emisión por parte de la UPC de la nota de cargo, en la forma y plazos que se detallan en la Memoria Económica.

Las citadas cantidades serán satisfechas por el CSN previa entrega y aceptación de la documentación que se define en la Memoria Técnica y en la Memoria Económica, y se abonarán condicionadas a la previa existencia de crédito específico y suficiente en cada ejercicio, con cumplimiento de los límites establecidos en el artículo 47 de la Ley General Presupuestaria.

Estas condiciones económicas podrán ser revisadas en caso de producirse alguna modificación de las bases del convenio y de sus contenidos técnicos y presupuestarios.

Tanto el CSN como la UPC realizan en el mercado abierto menos del 20 % de las actividades objeto de la cooperación.

Quinta. *Condiciones técnicas.*

La aplicación de este convenio se regirá por las condiciones técnicas recogidas en el anexo 1, que podrán ser revisadas conjuntamente en atención a circunstancias especiales sin que ello afecte a la naturaleza del mismo.

Sexta. *Seguimiento del convenio.*

Para la correcta ejecución del convenio, se constituirá una Comisión de Seguimiento compuesta por, al menos, una persona en representación de cada una de las partes, que podrá estar asesorada por otros responsables técnicos. Estos representantes serán nombrados por sus respectivas instituciones, pudiendo modificarse estos nombramientos cuando se estime adecuado.

Inicialmente, esta Comisión de Seguimiento la formarán:

Por la UPC: Don Jordi Freixa Terradas, Lector Serra-Húnter en la UPC.

Por el CSN: Don Rafael Mendizábal Sanz, Consejero Técnico de la Subdirección de Ingeniería del CSN.

Estos representantes serán los responsables técnicos encargados de realizar la coordinación técnica y estarán encargados de controlar el desarrollo del convenio, y de proponer de mutuo acuerdo las decisiones necesarias para la buena marcha de las actividades contempladas en el mismo. Para ello, podrán asesorarse por los expertos que consideren oportuno.

Cualquier modificación respecto a las personas nombradas para la coordinación de este proyecto será comunicada por escrito, reflejando los motivos del cambio.

Esta Comisión de Seguimiento será la encargada de resolver de mutuo acuerdo los problemas de interpretación y cumplimiento que puedan plantearse.

Séptima. *Modificación.*

Los términos del convenio se podrán revisar o modificar en cualquier momento a petición de cualquiera de las partes, de manera que puedan introducirse, de mutuo acuerdo, tales modificaciones o revisiones.

Octava. *Régimen jurídico y resolución de conflictos.*

El presente convenio tiene naturaleza administrativa y se regulará por lo previsto en el Capítulo VI del Título Preliminar de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

La interpretación del convenio se realizará bajo el principio de buena fe y confianza legítima entre las partes.

Las cuestiones litigiosas a las que pueda dar lugar la interpretación, modificación, efectos o resolución del contenido del presente convenio se resolverán de mutuo acuerdo entre las partes, mediante diálogo y negociación entre los coordinadores en el seno de las reuniones de seguimiento establecidas en la cláusula sexta. Si no fuera posible alcanzar un acuerdo, serán sometidas a los tribunales competentes de la jurisdicción contencioso-administrativa.

Novena. *Confidencialidad.*

Las partes conceden, con carácter general, la calificación de información reservada a la generada en aplicación de este convenio, por lo que asumen de buena fe el tratamiento de restricción en su utilización por sus respectivas organizaciones a salvo de su uso para el destino o finalidad pactados o de su divulgación, que habrá de ser autorizada previamente caso por caso por cada una de las partes.

Asimismo, cada una de las partes se compromete a mantener de forma confidencial la información y/o documentación que le haya sido facilitada por las otras partes y que, por su naturaleza, o por haberse hecho constar expresamente, tenga carácter confidencial.

Esta obligación de confidencialidad se mantendrá en vigor una vez finalizado el presente convenio.

La aplicación en otros proyectos de los conocimientos adquiridos por las partes como consecuencia de su participación en este proyecto no estará restringida por ninguna condición adicional.

Décima. *Propiedad intelectual e industrial.*

Los derechos de propiedad industrial e intelectual que recaigan sobre los trabajos o resultados de las actividades que se realicen dentro del alcance de este convenio pertenecerán exclusivamente a las partes, como únicos titulares de los mismos, por lo que ninguna entidad podrá divulgar dichos trabajos o resultados, ni realizar explotación alguna de los derechos reconocidos sobre los mismos, incluyendo su cesión a terceros, sin contar con la previa aprobación escrita de la otra parte.

En caso de que se obtuvieran ingresos económicos derivados de los resultados de los trabajos o de las actividades de investigación, tendrán derecho al mismo todas las partes en la misma proporción, siendo no obstante necesario, antes de proceder al correspondiente reparto, deducir de los citados ingresos el importe de los costes y gastos que cada una de las partes haya aportado al proyecto de conformidad con lo establecido en el presente convenio.

La difusión de los resultados del proyecto, ya sea a través de publicaciones o de presentaciones en talleres, conferencias, o mediante cualquier otro medio, hará referencia a la financiación del proyecto por parte del CSN.

El contenido de esta cláusula permanecerá en vigor de forma indefinida una vez finalizado el presente convenio.

Undécima. *Protección de datos de carácter personal.*

Las partes se obligan a que los datos personales, a que pudieran tener acceso durante el desarrollo de las actividades recogidas en el presente convenio, sean procesados de conformidad a lo estipulado en la Ley 3/2018 de 5 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal y Garantía de los Derechos Digitales, derivada del Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento General de Protección de Datos).

Duodécima. *Vigencia y prórroga.*

De conformidad con la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público, el presente convenio se perfecciona con el consentimiento de las partes y resultará eficaz una vez inscrito en el Registro Estatal de Órganos e Instrumentos de Cooperación del sector público estatal. Asimismo, será publicado en el «Boletín Oficial del Estado».

Permanecerá en vigor desde el día de su registro y durante cuatro años. Si fuera necesario variar su plazo de ejecución, el convenio podrá ser objeto de prórroga (máximo hasta cuatro años adicionales) por mutuo acuerdo de las partes, siempre que se respete lo establecido en el artículo 49, letra h, de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público y la prórroga sea compatible con las obligaciones presupuestarias legalmente establecidas. En este caso, se formalizará la oportuna adenda de modificación y/o de prórroga, incluyendo en su caso las condiciones de la prórroga con anterioridad a la fecha del vencimiento del convenio.

Decimotercera. *Extinción y suspensión.*

El presente convenio se extinguirá por el cumplimiento de las actuaciones que constituyen su objeto o por incurrir en alguna de las causas de resolución previstas en el artículo 51.2 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público. Asimismo, las partes por motivos razonables podrán rescindir o suspender

temporalmente este convenio, preavisando con al menos tres meses de antelación a la fecha en que la resolución deba ser efectiva.

En caso de suspensión temporal, el plazo en que el convenio estuviere suspendido se computará dentro del plazo máximo de su vigencia.

En caso de resolución del convenio, las partes quedan obligadas al cumplimiento de sus respectivos compromisos hasta la fecha en que ésta se produzca y dará lugar a la liquidación del mismo con el objeto de determinar las obligaciones y compromisos de cada una de las partes en los términos establecidos en el artículo 52 de la Ley 40/2015.

La UPC entregará al CSN un informe de los resultados obtenidos hasta el momento de la interrupción, pudiendo utilizar libremente dichos resultados, siempre que se salvaguarden las condiciones estipuladas en las cláusulas Novena y Décima.

Las partes manifiestan su conformidad con el presente convenio y lo firman en Madrid, a 22 de diciembre de 2023.–Por el Consejo de Seguridad Nuclear, el Presidente, Juan Carlos Lentijo Lentijo.–Por la Universitat Politècnica de Catalunya, el Rector, Daniel Crespo Artiaga.

ANEXO 1

Memoria Técnica

1. Introducción.

El CSN y la UPC han venido desarrollando en el tiempo numerosos proyectos de I+D, siendo buena prueba de ello el que concluyó, a plena satisfacción de las partes, en octubre de 2019.

El Plan de I+D+i 2021-2025 del CSN recoge las líneas de investigación relacionadas con la modelación y metodologías de análisis de seguridad. Éstas continúan y actualizan las seguidas en el anterior plan de I+D y constituyen el soporte adecuado a las actividades que se proponen en este acuerdo.

Las actividades que se describen en esta memoria técnica profundizan en el estudio teórico, desarrollo y aplicación práctica de metodologías de análisis de accidentes avanzadas, calificadas como realistas con tratamiento de incertidumbres (BEPU, «Best estimate Plus Uncertainty») [1]. Asimismo, se hace especial hincapié en los métodos de escalado, tanto para el tratamiento de las incertidumbres como para la extrapolación de conclusiones de los programas experimentales a las centrales actuales. El CSN ha tenido que responder, en el pasado, a la solicitud de licencia y uso de metodologías BEPU. Por ello, ha promovido y participado en actividades de I+D, tanto de desarrollo propio como en el ámbito de proyectos internacionales. Como resultado de estos trabajos se ha adquirido el conocimiento y capacidades necesarios para acometer con garantías procesos de licenciamiento de metodologías BEPU. Igualmente, estas actividades han puesto de manifiesto puntos importantes de estas metodologías, como son su validación frente a resultados experimentales obtenidos en instalaciones de efectos integrales, y la caracterización y análisis del efecto de escala para aplicación a centrales nucleares. Estos tópicos se estudian en el proyecto ITHEM.

El uso de este tipo de metodologías para estudios de seguridad se está popularizando en todo el mundo, tanto para el licenciamiento de nuevos diseños como para la extensión de vida de las centrales actuales. Por ejemplo, en el licenciamiento de reactores modulares pequeños (SMR), basados en los diseños de reactores de agua a presión, que incorporan sistemas pasivos de seguridad e incluso se sustentan en la circulación natural para la extracción del calor en condiciones nominales. Para su licenciamiento, tanto el análisis de las incertidumbres como los estudios de escalado son y serán primordiales, para poder garantizar la aplicabilidad de los códigos actuales. En cuanto a los reactores actuales, la llegada de combustibles tolerantes a los accidentes (*Accident Tolerant Fuels* ATF) se postula como un verdadero reto en cuanto a la aplicación de la normativa actual. Los métodos BEPU, y nuevas aproximaciones que

fusionen los métodos de análisis deterministas y probabilistas, cobran cada vez más relevancia.

El planteamiento para el desarrollo de las actividades que se proponen es consistente con la aplicación del estado del arte, lo que permitirá adquirir el conjunto de conocimientos prácticos necesarios para avanzar en la mejora de la competencia técnica del personal del CSN dirigida a la evaluación de la seguridad en las centrales nucleares. Adicionalmente, las actividades propuestas incluyen tópicos de alto contenido investigador e innovador, lo que hace de especial interés para la UPC la realización de los trabajos de desarrollo del proyecto.

2. Objetivos.

El proyecto Ithem, objeto de este convenio, tiene varios objetivos:

- Profundizar en el conocimiento de las metodologías de análisis de accidente de plantas nucleares. Tales metodologías agrupan códigos computacionales (que modelan la fenomenología termohidráulica, neutrónica y termomecánica de combustible que sucede durante los accidentes), técnicas de análisis de incertidumbre (con propagación directa e inversa) y sensibilidad, y técnicas de análisis de escala.

- Llevar a cabo actividades dirigidas a asimilar, desarrollar y validar métodos y capacidades de evaluación en el área de termohidráulica y análisis de accidentes para su aplicación por el CSN en las actividades de evaluación que le son propias y que requieren de estos conocimientos.

- Contribuir a la obtención de una base sólida de conocimiento y de los métodos de análisis adecuados que sustenten la calidad y rigor de las evaluaciones técnicas del CSN, así como consolidar la competencia investigadora de la UPC en materia de seguridad nuclear.

Para conseguir estos objetivos, el proyecto Ithem se divide en los siguientes subproyectos:

I) Estudio de metodologías de generación de distribuciones de probabilidad de parámetros inciertos en modelos físicos mediante métodos inversos de propagación de incertidumbres. Participación en el proyecto ATRIUM de NEA/OCDE.

II) Análisis de escalado de instalaciones experimentales. Evaluación de la influencia de la escala sobre los parámetros más relevantes en relación con los límites de diseño de las centrales nucleares.

III) Desarrollo y validación de métodos BEPU para análisis de accidentes en Seguridad Nuclear.

IV) Exploración de metodologías avanzadas de análisis de seguridad integrando análisis probabilista y determinista, con aplicación al análisis de casos DEC-A.

V) Simulación de eventos de reinundación de núcleo tras un LOCA. Participación en el proyecto RBHT2 e impacto de la introducción de combustibles tolerantes a accidentes.

VI) Apoyo al CSN en sus tareas de evaluación, si se considerase necesario.

3. Actividades del proyecto.

A continuación, se describen en detalle los 6 subproyectos en los que se divide el proyecto Ithem.

I) Estudio de metodologías de generación de distribuciones de probabilidad de parámetros inciertos en modelos físicos mediante métodos inversos de propagación de incertidumbres. Participación en el proyecto ATRIUM de NEA/OCDE.

Las metodologías realistas con tratamiento de incertidumbres (BEPU) en análisis de accidentes actualmente licenciadas son probabilistas, y se basan en la propagación de incertidumbres desde los parámetros de entrada y modelos mediante técnicas de Monte

Carlo. El estudio de metodologías BEPU ha sido objeto de interés internacional, y buena muestra de ello son las actividades promovidas desde la Agencia de Energía Nuclear (NEA) de la OCDE y de la OIEA. Dichos estudios han puesto de manifiesto los puntos más críticos de este tipo de metodologías, uno de los cuales es la asignación de incertidumbres, en forma de distribuciones de probabilidad, a los parámetros de entrada de los análisis. Hay una clase de parámetros de entrada cuya asignación de incertidumbre es especialmente problemática; se trata de los llamados «parámetros de modelo», que entran en la formulación del modelo. Puede decirse que representan la parte empírica de los submodelos físicos, y que recogen su incertidumbre epistémica. El CSN y la UPC han participado en proyectos previos auspiciados por la NEA en el campo de los métodos inversos, como son PREMIUM (*Post BEMUSE REFlood Model Input Uncertainty Methods*) [2] y SAPIUM (*Systematic Approach for Input Uncertainty Quantification Methodology*) [3], [4]. PREMIUM tuvo como objetivo analizar y aplicar métodos de inferencia de incertidumbre de parámetros de modelo a través de simulaciones de experimentos de reinundación. La UPC contribuyó [5] al proyecto con la aplicación de dos de los métodos propuestos por los participantes al proyecto, como son CIRCÉ (desarrollado por CEA) [6] e IPREM [7] (desarrollado por Università di Pisa). Posteriormente, el proyecto SAPIUM ha consistido en una consolidación de las conclusiones establecidas en PREMIUM y la elaboración de unas guías para la cuantificación de las incertidumbres de los parámetros de entrada de los cálculos termohidráulicos.

Una de las conclusiones del ejercicio PREMIUM fue que los métodos empleados producían resultados diferentes dependiendo de la base experimental utilizada. En el presente proyecto, se pretende analizar nuevos métodos inversos basados en técnicas de optimización y en teoría bayesiana [8], con el objetivo de desarrollar un método propio. Respecto a técnicas bayesianas, se tomará como punto de partida la tesis doctoral de Damar Wicaksono del Paul Scherrer Institute [9], [10].

Un nuevo proyecto de NEA/OCDE es ATRIUM (*Application Tests for Realization of Inverse Uncertainty quantification and validation Methodologies in thermal hydraulics*) [11], continuación de PREMIUM y SAPIUM. Sus objetivos principales son: llevar a cabo ejercicios de cuantificación inversa de incertidumbres y demostrar la aplicabilidad de las guías desarrolladas durante el proyecto SAPIUM. El proyecto comenzó en febrero de 2022, y tiene una duración de 3 años. Un buen número de organizaciones de todo el mundo están participando.

En la fase 1 de ATRIUM se trabajará con datos experimentales de instalaciones de descarga por caudal crítico (entre ellas, Marviken). La fase 2 de ATRIUM abordará las incertidumbres sobre el flujo de calor crítico. La participación conjunta del CSN y la UPC en ATRIUM permitirá fortalecer esta línea de investigación.

Como en el acuerdo anterior, y por razones de coherencia en la comparación, la actividad descrita se realizará haciendo uso del código termohidráulico de sistema RELAP5.

Para este subproyecto se definen dos actividades:

A.I.1 Participación en el proyecto ATRIUM de NEA/OCDE. Simulación de los experimentos en instalaciones de caudal crítico y de flujo de calor crítico con la correspondiente aplicación de métodos inversos de propagación de incertidumbres.

A.I.2 Estudio y desarrollo de métodos inversos de propagación de incertidumbres.

Como consecuencia de estas actividades, e independientemente de los informes de seguimiento, se esperan obtener los siguientes productos entregables (informes de tarea):

- E.I.1 Informe sobre la participación de UPC y CSN en el proyecto ATRIUM.
- E.I.2 Informe sobre la metodología adoptada para la generación de distribuciones de probabilidad a parámetros inciertos de modelos físicos. Esta entrega incluirá la

aplicación de la metodología a varios parámetros inversos a través de la simulación de experimentos de caudal crítico y de flujo crítico de calor.

II) Análisis de escalado de instalaciones experimentales. Evaluación de la influencia de la escala sobre los parámetros más relevantes en relación con los límites de diseño de las CC.NN.

Los datos reales sobre posibles escenarios accidentales en centrales nucleares provienen, en su gran mayoría, de instalaciones experimentales a escala menor que la real. La diferencia de escala, tanto en parámetros geométricos y topológicos como en condiciones experimentales, introduce distorsiones de los resultados de los experimentos con respecto a lo que sucedería realmente en una planta nuclear [12].

Los métodos de escalado tienen como objetivo, precisamente, la extrapolación de resultados obtenidos en instalaciones experimentales a plantas nucleares. El conocimiento de las técnicas de escalado es clave en la tarea evaluadora del CSN.

La UPC tiene una amplia experiencia en el campo de las técnicas de escalado [13] [14]. Uno de los hitos conseguidos en anteriores proyectos es la creación de una herramienta propia (PVST) para escalar modelos de RELAP a diferentes escalas [15], [16]. En el presente proyecto se pretende hacer uso de esa herramienta para evaluar el efecto que tiene la escala sobre los parámetros más relevantes que intervienen en los escenarios base de diseño. El punto de partida de esta tarea será un modelo validado y consolidado de la instalación experimental LSTF [17]–[19]. Con él, se simularán un número significativo de experimentos relevantes (entre 5 y 10). Para cada uno de los experimentos se hará una evaluación fenomenológica definiéndose parámetros escalares de salida relevantes (ejemplos serían la máxima temperatura del núcleo o el tiempo en que ésta ocurre). Con la herramienta PVST se generarán inputs a diferentes escalas de cada uno de los experimentos. Finalmente, se podrá evaluar el efecto de la escala sobre cada uno de los parámetros escalares definidos. En el anterior acuerdo CSN-UPC se hizo un trabajo similar pero solo se crearon modelos a dos escalas [20] con los que se estudió el impacto de la escala sobre la propagación de incertidumbres. En el presente proyecto se pretende generar un número considerable de modelos para cubrir un amplio rango de escalas.

Las tareas previstas para esta actividad son:

A.II.1 Cualificación del modelo LSTF a partir de una amplia batería de casos.

A.II.2 Estudio del efecto de escala sobre los principales parámetros que intervienen en los fenómenos más relevantes en relación con los accidentes base de diseño. Para esta tarea se utilizará el modelo cualificado de LSTF (A.II.1) y la herramienta PVST para generar réplicas del modelo a diferentes escalas y calcular así el efecto de escala sobre los principales parámetros de los experimentos.

De esta actividad, independientemente de los informes de seguimiento, se obtendrán los siguientes productos entregables (informes de tarea):

– E.II.1 Informe sobre el modelo cualificado de LSTF con un resumen para cada uno de los experimentos simulados y una tabla de cualificación de todos los fenómenos físicos representados.

– E.II.2 Informe sobre el estudio del efecto de escala sobre los principales parámetros escalares que representan los experimentos simulados en E.II.1. Para cada parámetro, se estudia qué efecto tiene el cambio de escala.

III) Desarrollo y validación de métodos BEPU para análisis de accidentes en Seguridad Nuclear.

Este subproyecto supone la continuación de los trabajos que la UPC ha venido desarrollando (en el marco del anterior Acuerdo de Colaboración con el CSN) en el campo del análisis BEPU de accidentes.

Los modelos predictivos computacionales (códigos) requieren, como parte de su garantía de calidad, un proceso de verificación y validación (V&V). Las metodologías de análisis determinista de seguridad (DSA) se componen de códigos, y de un conjunto adecuado de hipótesis e instrucciones que guían su aplicación. No basta con hacer la V&V individual de cada código; la metodología en su conjunto debe tener su propio proceso de V&V.

La validación de un código consiste en la comparación de sus predicciones con datos reales (provenientes, sobre todo, de experimentos), y en la estimación consiguiente de su exactitud. De la misma manera, la validación de una metodología DSA consiste en la comparación de sus resultados (que son las magnitudes de seguridad que se comparan con criterios de aceptación reguladores) con datos reales. A partir de esa comparación el proceso de validación permite estimar la posición de sus predicciones con respecto a valores reales; es decir, permite hacer una estimación del grado de conservadurismo de la metodología.

En el anterior acuerdo de colaboración se diseñó un procedimiento de validación para metodologías BEPU y se aplicó a un escenario en la planta experimental PKL [21]. Se trataba de una rotura intermedia dentro de una actividad «benchmark» donde los resultados del experimento se mantuvieron ocultos. En el presente proyecto se continuará analizando la metodología haciendo hincapié en su integración en el proceso de licenciamiento. Asimismo, se aplicará a las actividades «benchmark» en las que la UPC tome parte. En este sentido, hay varias posibilidades dependiendo de los tiempos del proyecto:

- Actividad de la NEA ISP-51 con la instalación ACME (China).
- La instalación PKL dentro del proyecto OECD/NEA ETHARINUS.
- La instalación PKL dentro del ISP-52.
- La instalación LSTF en la última fase del proyecto ATRIUM.

La aplicación del método BEPU a los ejercicios «benchmark» mencionados anteriormente, conllevará también la aplicación de las distribuciones de probabilidad obtenidas en la actividad A.I.2 (para los parámetros relacionados con el fenómeno de reinundación, y otros modelos para fenómenos diferentes obtenidos en otras instalaciones experimentales).

El desglose de actividades sería el siguiente:

A.III.1 Definición e integración de criterios de aceptación de metodologías BEPU en procesos de licenciamiento.

A.III.2 Aplicación de la metodología BEPU con los parámetros generados en la actividad A.I.2 a un experimento en una instalación integral, preferiblemente dentro de un ejercicio ciego. Esta actividad se podrá realizar únicamente si los tiempos de ambos proyectos lo permiten.

A.III.3 Aplicación de criterios de aceptación de metodologías BEPU con los resultados obtenidos en la actividad A.III.2.

Como producto de estas actividades, e independientemente de los informes de seguimiento, se espera obtener el siguiente conjunto de entregables (informes de tarea):

– E.III.1 Informe sobre la definición e integración de los criterios de aceptación de metodologías BEPU en el proceso de licenciamiento. Esta entrega incluirá tanto la aplicación de los parámetros generados en la actividad A.I.3 así como la evaluación de los criterios de aceptación de metodologías BEPU con los resultados de la actividad A.III.2.

IV) Exploración de metodologías avanzadas de análisis de seguridad integrando análisis probabilista y determinista, con aplicación al análisis de casos DEC-A.

Los marcos clásicos empleados en la Evaluaciones de Seguridad, los así llamados Análisis Determinista (ADS) y Análisis Probabilidad de Seguridad (APS), se han llevado a cabo, históricamente, de forma desacoplada, empleándose para un cálculo detallado de consecuencias o daños (ADS) y de frecuencias (APS), que son los dos ingredientes del riesgo. Ambas son metodologías probadas y bien establecidas en la toma de decisiones de seguridad. Cada uno de estos enfoques hace aproximaciones en lo que se refiere al ingrediente del riesgo no detallado (frecuencias de accidente y fiabilidad de sistemas en el caso determinista, evolución dinámica de las consecuencias o daños en el caso probabilista). En el caso del APS, se realiza una aproximación cuasiestática y desacoplada de la dinámica del escenario; en el caso del análisis determinista, la fiabilidad de los sistemas y las frecuencias de los iniciadores se describe de manera cualitativa mediante el criterio de fallo único, y agrupaciones y categorías de iniciadores y accidentes.

En 2009 la IAEA publicó la revisión 0 de una guía sobre metodologías DSA, bajo el nombre «Specific Safety Guide No. SSG-2» [1], donde se presentan 4 opciones distintas para abordar el licenciamiento de un diseño nuclear. Las opciones 1 y 2 son métodos conservadores ampliamente analizados y aplicados. La opción 3 corresponde a los métodos BEPU (*Best Estimate Plus Uncertainty*), basada en el uso de modelos realistas («best estimate») y en la realización de análisis de incertidumbre de los resultados de seguridad de los cálculos [22]. En esta revisión 0, la opción 4 tenía como objetivo añadir un nivel más de flexibilidad, incorporando la actuación de sistemas de seguridad al análisis de incertidumbre (en las opciones 1 a 3 se emplea el criterio de peor fallo único de dichos sistemas). Por lo tanto, la opción 4 integraba conceptos probabilísticos de los métodos APS dentro de la metodología determinista de licenciamiento de la opción 3 (BEPU). Esto corresponde a las metodologías llamadas «Extended BEPU» (EBEPU).

En 2014, tres técnicos del CSN, junto a otros colaboradores, publicaron un procedimiento para desarrollar metodologías EBEPU [22]. Fue uno de los primeros intentos (si no el primero) de abordar este tipo de métodos.

La guía SSG-2 fue revisada hace unos años. En la revisión 1, la opción 4 ya no se refiere a las metodologías EBEPU, sino a lo que la propia guía llama «metodologías realistas», que vienen a ser las «best estimate» sin análisis de incertidumbre. Pero este cambio de nomenclatura en la nueva revisión no ha eliminado el interés en los métodos EBEPU, ni ha reducido los trabajos realizados en ese campo.

EBEPU es un ejemplo de «metodología integrada» de análisis de seguridad, que combina técnicas deterministas y probabilistas. Otros dos ejemplos bien conocidos son:

- «Integrated Deterministic Probabilistic Safety Analysis» (IDPSA).
- APS dinámico, que proviene del ámbito probabilista.

Podemos decir que EBEPU sigue un esquema determinista que incorpora aspectos probabilistas; mientras que IDPSA y APS dinámico pueden verse como metodologías probabilistas que incorporan aspectos deterministas.

La base teórica de IDPSA/EBEPU estaba indirectamente reflejada ya en los estándares de la regulación americana (ANSI/ANS-51.1-1983) [23] y alemana (KTA-SG-47) [24], que permiten el uso de diferentes criterios de aceptación de diseño para diferentes secuencias iniciadas por el mismo suceso iniciador. Para tal fin, es necesario que la secuencia cumpla una serie de requisitos, por ejemplo, tener una muy baja probabilidad. Existe una comunidad de I+D que ha avanzado continuamente en el desarrollo de métodos y herramientas y ha demostrado el valor potencial de estos enfoques en una variedad de casos. En la actualidad se mantienen y siguen desarrollando este tipo de métodos y herramientas, y se aplican a tópicos como la Verificación de Guías de Gestión de Accidentes (EOPs, SAMG, FSG), los Análisis de Accidentes DEC-A, o la Cuantificación Probabilista de Márgenes de Seguridad [37].

La aplicación de metodologías IDPSA/EBEPU representa un claro avance en referencia a las posibles extensiones de diseño y la introducción de combustibles tolerantes a los accidentes que podrían ser adoptadas en los próximos años en España.

Existe un grupo de trabajo del WGRISK de CSNI encargado de revisar la situación actual, discutir las ventajas e inconvenientes y, en su caso, proponer una estrategia para un despliegue más amplio de los métodos IDPSA [31]. El CSN ha sido en el pasado uno de los promotores de este tipo de desarrollos y ha contribuido al establecimiento de esta comunidad de investigadores y desarrolladores [32] – [36]. Dado el interés actual que suscita este tema, se considera que hay unas circunstancias favorables para retomar esta línea de trabajo. Los estudios referentes a la aplicación de la opción 4 de DSA o EBEPU son aún escasos [25]–[28]. El presente subproyecto indagará en la aplicación de EBEPU para un caso real dentro de la categoría de casos LOCA y su confluencia con una visión más global tipo IDPSA que dé continuidad a los trabajos que el CSN ha llevado a cabo hasta la fecha.

Las actividades para desarrollar en este proyecto son:

A.IV.1 Estudio de las metodologías EBEPU, sus formulaciones y aplicaciones y su viabilidad.

A.IV.2 Estudio de la metodología tipo IDPSA propuesta desde el CSN (ISA), junto con la herramienta asociada (SCAIS), con su posible implementación o reformulación.

A.IV.3 Análisis exploratorio de la aplicabilidad de EBEPU y de ISA/SCAIS o metodología alternativa en la identificación y análisis de escenarios DEC-A.

A.IV.5 Reclasificación de la categoría de casos DEC-A de tipo LOCA a través de la aplicación de la metodología desarrollada. Aplicación a un modelo de planta estándar.

Como producto de estas actividades, e independientemente de los informes de desarrollo anuales, se espera obtener el siguiente entregable:

E.IV.1 Informe sobre la exploración de la posible aplicación del enfoque IDPSA/EBEPU y la consecuente introducción de información proveniente del APS en metodologías deterministas. Esta entrega incluirá la aplicación de la metodología a la reclasificación de casos DEC-A dentro de la categoría de casos LOCA, utilizando un modelo estándar.

V) Simulación de eventos de reinundación del núcleo tras un LOCA. Participación en el proyecto RBHT2 e impacto de la introducción de combustibles tolerantes a accidentes.

Los combustibles tolerantes a accidentes constituyen un gran avance para garantizar la seguridad de las centrales nucleares. Estos elementos de combustible son capaces de soportar temperaturas superiores y limitan la oxidación de forma significativa. Para ello, se siguen dos estrategias diferentes: en la primera se crean unas capas protectoras de la vaina hechas de Zircaloy-4, y en la segunda se pretende substituir completamente la composición de la vaina o incluso el propio combustible por materiales cerámicos más resistentes a la oxidación. La primera opción está en estado industrial muy avanzado y ya se han introducido algunos elementos de combustibles en centrales tipo PWR en los Estados Unidos y en Europa [28].

La introducción de combustible tolerante a accidentes requiere una evaluación del impacto potencial que su uso pueda tener sobre los estudios de seguridad de accidentes base de diseño. La mayoría de los estudios realizados hasta la fecha se focalizan en comprobar las propiedades termomecánicas del combustible, así como la capacidad del nuevo diseño de vaina para limitar su oxidación. En paralelo será necesario evaluar el impacto en un número significativo de aspectos. Uno de ellos es la necesidad de comprender el efecto del cambio en los materiales sobre los procesos de transferencia de calor que se dan durante las fases cercanas al flujo de calor crítico (CHF), tanto antes como después. Diversos estudios apuntan a que el uso de capas protectoras tiene un

impacto en los coeficientes de transferencia de calor, que tienen un papel clave durante el proceso de reinundación que se da durante un escenario LOCA [29].

En el presente subproyecto se investigarán las necesidades de los códigos para la correcta simulación de los combustibles ATF durante el proceso de reinundación en un escenario LOCA. Para ello se pretende utilizar como punto de partida los experimentos y datos obtenidos en el reciente proyecto internacional RBHT [30] en el que la UPC ha participado en colaboración con el CSN. Este proyecto ha sido propuesto por la USNRC y en él se ha utilizado la instalación RBHT que se encuentra en Penn State University, con el objetivo de realizar ensayos experimentales en condiciones de la fase de reinundación de un accidente LOCA y ejercicios benchmark para la simulación de los resultados con evaluación de las incertidumbres asociadas. Dentro del proyecto CAMP España la UPC ha simulado todos los experimentos con el código de sistema RELAP. Recientemente, se ha aprobado la continuación del proyecto RBHT, con una nueva fase que contempla más experimentos y posiblemente la evaluación de incertidumbres de los códigos.

A partir del trabajo realizado en el proyecto RBHT se han detectado las capacidades y limitaciones de RELAP para la fenomenología asociada a la reinundación del núcleo. Una de las deficiencias más importantes es la imposibilidad de simular un campo de gotas y una capa de agua alrededor de las vainas de forma simultánea e independiente. El código TRACE ofrece una simulación tridimensional del núcleo, con dos fluidos y tres campos (vapor, líquido y gotas), con lo que podría subsanarse esta limitación. Sin embargo, los resultados de TRACE presentados por otros participantes en el proyecto no han sido capaces de reproducir los datos experimentales de forma satisfactoria. En muchos casos, RELAP ha presentado una mejor capacidad para reproducir los experimentos, y además se ha observado un menor efecto de usuario. A pesar de esto, será de gran interés simular los experimentos con ambos códigos para poder evaluar y comparar sus capacidades y limitaciones, así como proponer mejoras. Con ello se pretende obtener resultados robustos sobre los eventos de reinundación y la capacidad de aumentar el grado de detalle dependiendo del objetivo final del análisis.

Una vez evaluadas correctamente las capacidades y limitaciones de los códigos, se podrán aplicar los cambios necesarios en los modelos para analizar el efecto del uso de combustibles ATF.

Actividades:

- A.VI.1 Participación en el proyecto RBHT-2.
- A.VI.2 Simulación de los experimentos de RBHT y RBHT-2 con los códigos RELAP y TRACE. Evaluación de las capacidades y limitaciones de ambos códigos.
- A.VI.3 Evaluación de los cambios necesarios en los modelos para la simulación del fenómeno de reinundación con combustibles ATF.

Como producto de estas actividades, e independientemente de los informes de desarrollo anuales, se espera obtener el siguiente entregable:

E.VI.1 Informe sobre las capacidades y limitaciones de los códigos RELAP y TRACE para la simulación de eventos de reinundación de núcleo. Simulación de eventos de reinundación con distintos tipos de combustible ATF.

VI) Apoyo al CSN en sus tareas de evaluación.

Dicho apoyo se materializaría en la realización de los análisis o cálculos concretos que se consideren necesarios en relación con los temas citados en los puntos anteriores. Estas tareas deberán ser identificadas por el CSN a lo largo del periodo de vigencia del Acuerdo, y en ningún caso podrán suponer un porcentaje superior al 10 % del esfuerzo considerado en el Acuerdo.

Referencias:

- [1] IAEA/SSG-2 rev.0, «Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants,» pp. 1–84, 2009.
- [2] A. Kovtonyuk, A. Petruzzi, and F. D'Auria, «Post-BEMUSE Reflood Model Input Uncertainty Methods (PREMIUM) Benchmark Phase II: Identification of Influential Parameters - csni-r2014-14.pdf,» *CSNI report*, 2014. [Online]. Available: <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2014/csni-r2014-14.pdf>. [Accessed: 13-May-2016].
- [3] J. Baccou *et al.*, «Development of good practice guidance for quantification of thermal-hydraulic code model input uncertainty,» *Nucl. Eng. Des.*, vol. 354, p. 110173, Dec. 2019.
- [4] T. Skorek *et al.*, «Quantification of the uncertainty of the physical models in the system thermal-hydraulic codes PREMIUM benchmark,» *Nucl. Eng. Des.*, 2019.
- [5] J. Freixa, F. Reventós, and E. de Alfonso, «Testing methodologies for quantifying physical models uncertainties. A comparative exercise using CIRCE and IPREM (FFTBM),» *Nucl. Eng. Des.*, vol. 305, pp. 653–665, 2016.
- [6] A. de Crécy, «CIRCÉ: A methodology to quantify the uncertainty of the physical models of a code,» 2012.
- [7] A. Kovtonyuk, S. Lutsanych, F. Moretti, and F. D'Auria, «Development and assessment of a method for evaluating uncertainty of input parameters,» *Nucl. Eng. Des.*, vol. 321, pp. 219–229, 2017.
- [8] R. Mendizábal, «Bayesian perspective in BEPU licensing analysis,» *Nucl. Eng. Des.*, vol. 355, p. 110310, Dec. 2019.
- [9] D. Wicaksono, O. Zerkak, and A. Pautz, «Bayesian Calibration of Thermal-Hydraulics Model with Time-Dependent Output,» in *NUTHOS-11*, 2016, pp. 1–14.
- [10] D. Wicaksono, «Bayesian Uncertainty Quantification of Physical Models in Thermal-Hydraulics System Codes,» PhD Thesis, 2018.
- [11] WGAMA, «ATRIUM: CSNI Activity Proposal Sheet (CAPS), WGAMA 2021,» 2021.
- [12] F. D'Auria, D. Bestion, P. Lien, and H. Nakamura, «THE OECD / NEA / CSNI SOAR (State of Art Report) on Scaling (THE S- SOAR),» in *NUTHOS-11*, 2016, pp. 1–17.
- [13] F. Reventós, V. Martínez-Quiroga, and J. Freixa, «Perfecting the use of hybrid models in scaling analysis,» *Nucl. Eng. Des.*, vol. 354, 2019.
- [14] V. M. Martínez Quiroga, «Scaling-up methodology, a systematical procedure for qualifying NPP nodalizations. Application to the OECD/NEA ROSA-2 and PKL-2 Counterpart test,» Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.
- [15] V. Martínez-Quiroga, J. Freixa, and F. Reventós, «PVST, a tool to assess the Power to Volume scaling distortions associated to code simulations,» *Nucl. Eng. Des.*, vol. 332, 2018.
- [16] V. Martínez-Quiroga, F. Reventós, and J. Freixa, «Applying UPC Scaling-Up Methodology to the LSTF-PKL Counterpart Test,» *Sci. Technol. Nucl. Install.*, vol. 2014, pp. 1–18, 2014.
- [17] J. Freixa, V. Martínez-Quiroga, and F. Reventós, «Qualification of a full plant nodalization for the prediction of the core exit temperature through a scaling methodology,» *Nucl. Eng. Des.*, vol. 308, pp. 115–132, 2016.
- [18] J. Freixa, «Modelling guidelines for CCFL representation during IBLOCA scenarios of PWR reactors» in *NURETH-17*, 2017.
- [19] J. Freixa, V. Martínez-Quiroga, O. Zerkak, and F. Reventós, «Modelling guidelines for core exit temperature simulations with system codes,» *Nucl. Eng. Des.*, vol. 286, pp. 116–129, 2015.
- [20] M. Casamor, V. Martínez-Quiroga, F. Reventós, and J. Freixa, «On the Scaling of Uncertainties in Thermal Hydraulic System Codes,» *Ann. Nucl. Energy*, 2019.
- [21] J. Freixa, V. Martínez-Quiroga, M. Casamor, and F. Reventós, «Validation of a BEPU methodology through a blind benchmark activity at the PKL test facility» in *NURETH-18*, 2019.

[22] M. Dusic, M. Dutton, H. Glaeser, J. Herb, J. Hortal, R. Mendizábal, F. Pelayo, «Combining insights from probabilistic and deterministic safety analyses in option 4 from the IAEA specific safety guide SSG-2,» *Nucl. Technol.*, vol. 188, no. 1, pp. 63–77, 2014.

[23] A. N. Society, Ed., *ANSI/ANS-51.1-1983 Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary Pressurized Water Reactor Plants*. La Grange Park, Illinois, 1983.

[24] GRS, «Kerntechnischer Ausschuss Statusbericht zum Konzept: Klassifizierung von Ereignisabläufen für die Auslegung von Kernkraftwerken,» 1985.

[25] C. Queral *et al.*, «Application of Expanded Event Trees combined with uncertainty analysis methodologies,» *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 205, p. 107246, Jan. 2021.

[26] S. Martorell, F. Sánchez-Sáez, J. F. Villanueva, and S. Carlos, «An extended BEPU approach integrating probabilistic assumptions on the availability of safety systems in deterministic safety analyses,» *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 2017.

[27] P. Mazgaj and P. Darnowski, «Demonstration of the E-BEPU Methodology for LB-LOCA in NPP with PWR Demonstration of the E-BEPU Methodology for LB-LOCA in NPP with PWR Reactor,» no. September 2020, 2021.

[28] W. N. News, «First European reactor loads EnCore accident tolerant fuel: Uranium & Fuel - World Nuclear News.» [Online]. Available: <https://world-nuclear-news.org/Articles/First-European-reactor-loads-EnCore-accident-toler>. [Accessed: 09-Dec-2021].

[29] J. Young Kang, T. K. Kim, G. C. Lee, H. J. Jo, M. H. Kim, and H. S. Park, «Impact of system parameters on quenching heat transfer in the candidate materials for accident tolerant fuel-cladding in LWRs,» *Ann. Nucl. Energy*, vol. 129, pp. 375–389, Jul. 2019.

[30] L. Mohanta, F. B. Cheung, S. M. Bajorek, K. Tien, and C. L. Hoxie, «Experimental study of laminar mixed convection in a rod bundle with mixing vane spacer grids,» *Nucl. Eng. Des.*, vol. 312, pp. 99–105, 2017.

[31] WGRISK CAPS (2019), *Dynamic PSA Methodologies – Preparing for the Future*.

[32] J.M. Izquierdo, J. Hortal, M. Sánchez, E. Meléndez; «CSN Experience in the Development and Application of a Computer Platform to Verify Consistency of Deterministic and Probabilistic Licensing Safety Cases. Volume I: General Approach and Deterministic Developments». Consejo de Seguridad Nuclear Colección Otros Documentos ODE-04-22, CSN 40.2016, Madrid, Spain.

[33] Izquierdo JM; Hortal J, Sanchez-Perea M, Meléndez E.; 2018. The importance of accident time evolution in regulatory safety assessment. Independent, quantitative tools and methods at CSN to ensure adequate PSA/DSA applications. CSN publication, 42.2018, Colección «Otros Documentos».

[34] Aldemir T., A survey of dynamic methodologies for probabilistic safety assessment of nuclear power plants. *Annals of Nuclear Energy* 52 (2013) 113-124.

[35] *Modern Nuclear Energy Analysis Methods Vol.1., Advanced Concepts in Nuclear Energy Risk Assessment and Management*, edited by Tunc Aldemir (The Ohio State University, USA). June 2018, World Scientific Publishing Co., <https://doi.org/10.1142/10587>.

[36] M. Sánchez, R. Mendizábal, F. Pelayo, E. Meléndez, J.M. Izquierdo, J. Hortal, J. Pérez, «On the role of simulation codes in regulatory activities. Challenges and R&D needs», *Nuclear Engineering and Design* 409 (2023) 112345, <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112345>.

[37] Task Group on Safety Margins Action Plan (SMAP) - Final Report. NEA/CSNI/R(2007)9.

ANEXO 2

Memoria Económica

1. Duración del proyecto.

La duración de este proyecto de I+D será de cuatro años.

2. Presupuesto del proyecto.

A continuación, se detallan los distintos costes para cada una de las partidas económicas contempladas.

La distribución de las horas de dedicación previstas se ha establecido en función del programa de trabajo entre ambas instituciones, dentro de las actuaciones definidas en el proyecto establecido en la Memoria Técnica.

2.1 Costes de personal del CSN.

En cuanto a la aportación no dineraria del CSN, se han estimado 100 horas anuales de dedicación de un técnico de nivel 28 de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear al proyecto. Tomando la «Resolución de la Secretaría General del CSN por la que se aprueba la tabla anual de costes de las direcciones técnicas del CSN» aprobada el 30 de marzo de 2023, se obtiene un coste total de 43.884,00 euros como aportación no dineraria. El coste/hora incluye los conceptos que se indican en la tabla adjunta.

	Euros
Costes directos. Costes de personal.	48,44
Costes indirectos DTSN.	17,54
Repercusión de costes administrativos.	43,73
Total coste/hora.	109,71

2.2 Costes de personal de la UPC.

Los costes de personal de la UPC corresponden a las horas destinadas al proyecto por parte de los miembros del equipo investigador que estará compuesto por:

- Don Jordi Freixa Terradas, Profesor lector Serra-Húnter, Investigador principal del proyecto.
- Don Lluís Batet Miracle, Profesor titular.
- Don Víctor Martínez Quiroga, Doctor en Ciencias Físicas.
- Un investigador contratado a tiempo parcial.
- Dos investigadores doctorandos a tiempo completo (tres años cada uno).

Los costes de esta partida se detallan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Costes de personal de la UPC

Personal que participa en el proyecto	Costes directos – Euros/hora	Horas totales (4 años)	Coste total – Euros	Aportación UPC – Euros	Aportación CSN – Euros
Investigador principal.	31,48	3000	94.440,00	94.440,00	
Profesor investigador.	57,64	1800	103.752,00	103.752,00	
Investigador.	31,24	2500	78.100,00	78.100,00	
Personal investigador. contratado temporal.	31,24	3000	93.720,00		93.720,00
Doctorando contratado (3 años).			92.000,00		92.000,00
Doctorando contratado (3 años).			92.000,00		92.000,00
Totales.			554.012,00	276.292,00	277.720,00

2.3 Gastos de computación.

Para la ejecución del proyecto se requiere del uso de 5 equipos informáticos con altas prestaciones con un coste estimado en 2800 € cada uno, que se usarán a tiempo completo durante los 4 años de duración previstos. Los equipos tienen una amortización de 4 años.

Los costes de esta partida se indican en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Costes de amortización de equipos

Equipos y material inventariable	Valor de adquisición - Euros	Vida útil (años)	Número de equipos	Porcentaje de utilización en el proyecto	Coste total - Euros	Aportación UPC - Euros
Equipos informáticos de altas prestaciones.	2.800,00	4	5	100 %	14.000,00	14.000,00
Total.						14.000,00

2.4 Costes de viajes, dietas y cuotas de inscripciones.

Para permitir la asistencia a determinadas reuniones internacionales y nacionales de especial interés asociado a este proyecto se prevé una dotación para costes de viaje, dietas y cuotas de inscripción de 2.750,00 euros al año.

En la siguiente tabla 2.4 se indica esta previsión de gastos.

2.4 Costes de viajes, dietas, cuotas de inscripciones

Costes de viaje e inscripción a congresos	Coste anual - Euros	N.º	Coste total - Euros	Aportación CSN - Euros
Asistencia a una reunión internacional anual.	2.000,00	1	8.000,00	8.000,00
Asistencia a una reunión nacional anual.	750,00	1	3.000,00	3.000,00
Totales.			11.000,00	11.000,00

2.5 Costes indirectos y administrativos de la UPC.

Los costes indirectos relativos a gastos generales imputables al proyecto se estiman en 76.748,35 euros mediante la siguiente formula:

$$\text{Costes indirectos} = (0,21 \times \text{Aportación CSN dineraria sin costes indirectos}) / (1-0,21)$$

Este valor es el resultado de calcular la aportación neta disponible para el proyecto después de sustraer los costes indirectos de gestión que corresponden al 21 % sobre el total de la aportación monetaria del CSN al proyecto que asciende a 365.468,35 euros, que corresponde a sumar la aportación de 288.720,00 euros y los costes indirectos de 76.748,35 euros.

2.6 Resumen del presupuesto.

La tabla 2.6 resume los costes totales del proyecto.

Tabla 2.6 Resumen coste total del proyecto (durante cuatro años)

Concepto	Aportación UPC - Euros	Aportación CSN - Euros	Coste Total - Euros
Costes de personal CSN.	0,00	43.884,00	43.884,00
Costes de personal UPC.	276.292,00	277.720,00	554.012,00
Costes de amortización de equipos.	14.000,00	0,00	14.000,00
Costes de viaje e inscripción a congresos.	0,00	11.000,00	11.000,00
Costes indirectos y administrativos.		76.748,35 (*)	76.748,35
Totales.	290.292,00	409.352,35	699.644,35

(*) Costes indirectos = $(0,21 \times \text{Aportación CSN dineraria sin costes indirectos}) / (1-0,21)$

De las actividades previstas en este convenio no se deriva ninguna prestación de servicios ni suministro alguno, por lo que el mismo no está sujeto a la normativa de aplicación del Impuesto sobre el Valor Añadido. Sus fines son de interés general, promoviendo la I+D+i y transfiriendo sus resultados hacia el tejido productivo como elemento impulsor de la productividad y competitividad.

3. Distribución de pagos.

Atendiendo a lo indicado, los costes totales asociados a este proyecto se estiman en 699.644,35 euros, incluyendo todo tipo de gastos e impuestos.

La contribución total del CSN asciende a 409.352,35 euros, que supone un 58,5 % respecto del total indicado. Dicho importe corresponde a una aportación no dineraria en horas de personal (43.884,00 €), junto con otra aportación dineraria cuyo importe máximo es de 365.468,35 euros, incluyendo los costes indirectos.

La UPC aporta una cantidad de 290.292,00 euros, que corresponde a la aportación en horas de personal investigador de la UPC y gastos de amortización de equipos, lo que supone un 41,5 % respecto del total indicado.

Para el buen desarrollo de las actuaciones del proyecto, se estima un calendario para la contribución económica del CSN, a fin de coadyuvar a la financiación de los gastos derivados, de la siguiente forma:

Contribución anualidad (CSN)	A LA UPC - Euros
1. ^a en 2023.	50.000,00
2. ^a en 2024.	80.000,00
3. ^a en 2025.	80.000,00
4. ^a en 2026.	80.000,00
5. ^a en 2027.	75.468,35
Total.	365.468,35

Cada una de estas contribuciones irá precedida del correspondiente informe de seguimiento. La última contribución se efectuará en todo caso una vez se terminen todos los trabajos y se disponga del informe final.