

III. OTRAS DISPOSICIONES

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

26347 *Resolución de 10 de diciembre de 2024, del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se publica el Convenio con la Universitat Politècnica de València, la Universitat Politècnica de Catalunya y la Universidad Politécnica de Madrid, para la ejecución de Proyecto I+D sobre «Participación en los Proyectos de Mantenimiento de Códigos CAMP de la NRC y Programas Experimentales Termohidráulicos de NEA/OECD (ATLAS, RBHT, POLCA y SYSTHER), y su aplicación a Plantas Españolas (CAMP-ESPAÑA)».*

El Presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, la Vicerrectora de Investigación de la Universitat Politècnica de València, el Rector de la Universitat Politècnica de Catalunya y el Rector de la Universidad Politécnica de Madrid han suscrito, con fecha 5 de diciembre de 2024, el Convenio entre el Consejo de Seguridad Nuclear, la Universitat Politècnica de València (UPV), la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), para la ejecución de Proyecto I+D sobre «Participación en los Proyectos de Mantenimiento de Códigos CAMP de la NRC y Programas Experimentales Termohidráulicos de NEA/OECD (ATLAS, RBHT, POLCA Y SYSTHER), y su aplicación a Plantas Españolas (CAMP-ESPAÑA)».

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, 10 de diciembre de 2024.–El Presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Juan Carlos Lentijo Lentijo.

ANEXO

Convenio entre el Consejo de Seguridad Nuclear, la Universitat Politècnica de València, la Universitat Politècnica de Catalunya y la Universidad Politécnica de Madrid, para la ejecución del proyecto de I+D «Participación en los Proyectos de Mantenimiento de Códigos Camp de la NRC y Programas Experimentales Termohidráulicos de NEA/OECD (ATLAS, RBHT, POLCA y SYSTHER), y su aplicación a plantas españolas (CAMP-ESPAÑA)»

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, en nombre y representación del mismo, con domicilio en la calle Pedro Justo Dorado Dellmans número 11 de Madrid, y con número de identificación fiscal Q2801036-A, en virtud de las competencias que le son atribuidas por el Real Decreto 1440/2010, de 5 de noviembre (BOE núm. 282, de 22 de noviembre).

De otra parte: Doña María Belén Picó Sirvent, vicerrectora de Investigación de la Universitat Politècnica de València (en adelante UPV), con CIF Q4618002B, creada con rango de universidad en virtud del Decreto 495/1971, de 11 de marzo (BOE de 26 de marzo de 1971), con sede en el Camino de Vera, s/n de Valencia (España), en nombre y representación de esta institución, con poderes suficientes para la celebración de este acto, en virtud del Acuerdo de 27 de abril de 2023, del Consejo de Gobierno de la UPV, por el que se delegan determinadas competencias en materia de convenios en diferentes órganos unipersonales de la UPV (DOGV núm. 9589 de 5 de mayo de 2023), de

conformidad con lo dispuesto en los artículos 9 y 10 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

De otra parte: Don Daniel Crespo Artiaga, rector de la Universitat Politècnica de Catalunya (en adelante UPC), en virtud del nombramiento efectuado por el Decreto 115/2021, de 1 de junio (publicado en el DOGC núm. 842 el 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 confieren 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 Acuerdo GOV/43/2012, de 29 de mayo (DOGC núm. 6140, de 1 de junio de 2012).

De otra parte: Don Guillermo Cisneros Pérez, rector de la Universidad Politécnica de Madrid (en adelante UPM), con CIF Q-2818015F, nombrado por Decreto 109/2020 de 25 de noviembre (BOCM núm. 289 de 26 de noviembre de 2020), actuando en nombre y representación de la misma, en virtud de las facultades que le confieren los estatutos de la Universidad Politécnica de Madrid, aprobados por Decreto 74/2010 de 21 de octubre (BOCM núm. 273 de 15 de noviembre de 2010), y modificados parcialmente mediante Decreto 26/2018, de 3 de abril, BOCM de 9 de abril.

Todos ellos 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

Primera. *Objeto.*

El objetivo general de este convenio es la realización del proyecto I+D denominado «Participación en los Proyectos de Mantenimiento de Códigos CAMP de la NRC y Programas Experimentales Termohidráulicos de NEA/OECD (ATLAS, RBHT, POLCA y SYSTHER), y su aplicación a plantas españolas (CAMP-ESPAÑA)».

El alcance de las actividades que se considera necesario realizar para alcanzar este objetivo se detalla en la Memoria Técnica que se adjunta a este convenio como anexo 1.

Segunda. *Obligaciones de las partes.*

Son obligaciones de las universidades UPV, UPC y UPM 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 los datos e información de los que disponga y que pudieran ser necesarios para la realización de las actividades.
- Poner a disposición del convenio el personal necesario para garantizar la máxima calidad de las actividades 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 lo revisarán siguiendo lo indicado en la cláusula sexta.
- Contribuir a la financiación de los costes del convenio en la forma que se describe en la cláusula cuarta.
- Documentar las actividades realizadas dentro del convenio, en la forma que se describe en la Memoria Técnica (anexo 1 a este convenio).
- Mantener las condiciones de confidencialidad sobre toda la información obtenida y generada en el curso de las actividades, que se describen en la cláusula octava.
- Contribuir a la coordinación técnica para controlar el buen desarrollo conjunto del convenio.
- Desarrollar procedimientos que permitan la implementación de los resultados obtenidos al final del proyecto.

Son obligaciones del CSN 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 las actividades en él incluidos.
- Contribuir a la financiación de los costes del convenio en la forma que se describe en la cláusula cuarta.
- Poner a disposición del convenio los datos e información de los que disponga y que pudieran ser necesarios para la realización de las actividades.
- Documentar las actividades realizadas dentro del convenio, en la forma que se describe en la Memoria Técnica (anexo 1 a este convenio).
- Contribuir a la elaboración de informes técnicos que documenten las actividades realizadas dentro del convenio y a la publicación de artículos científicos.
- Mantener las condiciones de confidencialidad sobre toda la información obtenida y generada en el curso de las actividades, según se describe en la cláusula octava.
- Contribuir a la coordinación técnica para controlar el buen desarrollo conjunto del convenio, aportando 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 de I+D.

Tercera. *Responsabilidad.*

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

Cuarta. *Presupuesto y financiación.*

El coste total del convenio comprenderá las partidas correspondientes a: recursos humanos; amortización del material inventariable durante la ejecución del proyecto de I+D; material fungible; realización de viajes, asistencia a congresos; y publicación de los resultados del proyecto. Las cantidades correspondientes a cada uno de estos conceptos se detallan en la Memoria Económica que se incluye como anexo 2 de este convenio.

Sobre la base de estas cantidades, se obtienen unos costes totales para el proyecto de I+D plasmado en este convenio de un millón cuatrocientos treinta y nueve mil doscientos cuarenta y nueve euros con cincuenta y dos céntimos (1.439.249,52 €). El CSN aportará la cantidad de ochocientos diecinueve mil cuarenta y seis euros (819.046,00 €), que corresponde a un 56,9 % del total citado. Dicho importe se desglosa en 748.000,00 euros como aportación dineraria, y 71.046,00 euros que serían como aportación en dedicación del personal técnico al proyecto.

Las universidades UPV, UPC y UPM aportarán un total de seiscientos veinte mil doscientos tres euros con cincuenta y dos céntimos (620.203,52 €), lo que supone un 43,1 % del coste total.

La distribución de la contribución económica dineraria del CSN se establece en aportaciones semestrales, correspondiendo a la aplicación presupuestaria con código 23.302.424M.640, y abonándose cada uno de los pagos tras la correspondiente emisión por parte de las universidades UPV, UPC y UPM de los requerimientos de pago, todo ello 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.

Quinta. *Seguimiento del convenio.*

El seguimiento del proyecto CAMP-España se realizará a través de un Comité de Dirección en el que habrá representantes de cada una de las partes firmantes del presente convenio, y en el que podrán estar representadas también otras organizaciones participantes en dicho proyecto. Las decisiones del citado Comité se tomarán por consenso e irán encomendadas a la consecución de los objetivos descritos en la cláusula primera. La composición de dicho Comité será:

- Dos representantes de CSN (uno de ellos actuará como Director del Proyecto).
- Tres representantes de la UPV (el coordinador de esta entidad actuará también como Jefe de Proyecto) o personas que les sustituyan nombrados por el rector.
- Un representante de la UPC.
- Un representante de la UPM.

Las principales funciones del Comité de Dirección serán:

- Realizar el seguimiento del proyecto, recibiendo información de la evolución del mismo a través de la jefatura del proyecto.
- Tomar las decisiones de carácter técnico que sean necesarias para el correcto desarrollo del proyecto.
- Analizar y comentar los informes que se generan en el proyecto y aceptar sus versiones finales.
- Aprobar el informe final del proyecto, propuesto por quien lleve la coordinación técnica del proyecto.

Este Comité será el responsable de realizar la coordinación técnica, 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 el personal experto que consideren oportuno.

El Jefe de Proyecto será encargado de la gestión global del proyecto, y entre sus misiones están las siguientes:

- Distribuir de forma inmediata entre las entidades participantes la información, tanto preliminar, como definitiva que se genere en la ejecución de este proyecto.
- Informar de la evolución del proyecto en las reuniones del Comité de Dirección del Proyecto siendo responsable de convocar reuniones cuando sea necesario para la toma de decisiones que afecten al desarrollo del proyecto, así como de elaborar las actas de las reuniones del Comité de Coordinación del Proyecto.
- Supervisar que se realizan las tareas asignadas en la forma y plazos previstos en el presente acuerdo.

Otros mecanismos de coordinación previstos para la eficaz ejecución del proyecto son:

- Una estrecha colaboración de los especialistas del CSN con los grupos participantes, así como con los *Operating Agents* de los proyectos ATLAS, RBHT, POLCA y SYSTHER, y con la USNRC.
- La realización de las jornadas técnicas del proyecto nacional, al menos una vez al año. Asimismo, se prevé la asistencia a las jornadas internacionales del proyecto CAMP y a los talleres («workshops») de actividades analíticas de los programas experimentales ATLAS, RBHT, POLCA y SYSTHER.

En aquello no establecido en este convenio, el régimen de organización y funcionamiento del Comité de Dirección será el previsto para los órganos colegiados en

la sección 3.^a del Capítulo II del Título Preliminar de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

Sexta. Modificación.

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, y siempre con el acuerdo de todas las partes.

El presente convenio podrá ser modificado, a propuesta de cualquiera de las partes, a través del Comité de Dirección indicado en la cláusula anterior, mediante la suscripción de una adenda al mismo, formalizada con el acuerdo unánime de las partes antes de la finalización del convenio.

Séptima. 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.

El presente convenio está sujeto al derecho administrativo. 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, en el seno del Comité de Dirección establecido en la cláusula quinta mediante diálogo y negociación entre sus miembros. Si no fuera posible alcanzar un acuerdo, serán sometidas a los tribunales competentes de la jurisdicción contencioso-administrativa.

Octava. 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.

Novena. Propiedad intelectual e industrial.

Los derechos de propiedad industrial e intelectual pertenecientes a cualquiera de las partes antes del comienzo de la colaboración objeto de este convenio y, asimismo, aquellos que siendo propiedad de terceros hubieran sido transferidos a una de las partes, continuarán siendo propiedad de sus titulares. Las otras partes no podrán hacer uso de dicha información fuera del ámbito de esta colaboración.

Los derechos de propiedad industrial e intelectual que recaigan sobre los resultados de las actividades que se realicen dentro del alcance de este convenio serán compartidos entre las partes implicadas de acuerdo a su contribución para la consecución del mismo, por lo que ninguna entidad podrá divulgar dichos 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 las otras partes, y en su caso, sin la suscripción del correspondiente acuerdo previo de cotitularidad y condiciones de uso y explotación de los resultados, estipulándose las oportunas contraprestaciones económicas, así como cualesquiera otros aspectos que considerasen de interés.

En la medida en que estos resultados obtenidos fuesen susceptibles de protección legal mediante patente u otro título de propiedad industrial, las partes acordarán expresamente mediante un acuerdo de cotitularidad la proporción de propiedad correspondiente, y que, siendo bajo un resultado en cotitularidad o copropiedad, se renuncia expresamente por las partes cotitulares al derecho de su explotación individual, acordándose expresamente las condiciones de su explotación.

En el caso de que terceras partes deseen obtener la información generada dentro de proyectos concretos, las partes podrán ceder o transferir esta información previo acuerdo por escrito y con el acuerdo unánime de las partes implicadas.

En caso de que se obtuvieran ingresos económicos derivados de los resultados de las actividades de investigación, tendrán derecho al mismo todas las partes en la proporción que conste en el acuerdo de cotitularidad, siendo no obstante necesario, antes de proceder al correspondiente reparto, detraer 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, deberá tener el consentimiento por escrito de las partes involucradas en dicho resultado. Cualquier difusión de los resultados del proyecto, hará referencia a la colaboración entre las partes mencionando expresamente a todas las partes participantes en el mismo.

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

Décima. *Vigencia y prórroga.*

De conformidad con el artículo 48.8 de 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. Permanecerá en vigor desde el día de su registro y durante cuatro años. En cualquier momento antes de su finalización, podrá prorrogarse por un plazo máximo de otros cuatro años, siempre con el acuerdo unánime de todas las partes, y atendiendo a los límites que establece la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

Este convenio será publicado en el «Boletín Oficial del Estado» en el plazo de 10 días hábiles desde la formalización del convenio, siendo el CSN responsable de esta publicación.

Undécima. *Lugar de realización.*

Las actividades objeto del convenio se realizarán por cada parte en sus instalaciones propias o en cualquier otro espacio determinado de común acuerdo.

Duodécima. *Protección de datos de carácter personal.*

En todo cuanto afecte a los datos personales, a que pudieran tener acceso durante el desarrollo de las actividades recogidas en el presente convenio, las partes se obligan a que éste sea procesado 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, y en el 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 - RGPD).

Atendiendo a las obligaciones y responsabilidades de las partes en materia de protección de datos, se entiende que todas ellas, respecto al tratamiento de datos que deriva de la ejecución del convenio, actúan como corresponsables, según lo previsto en el artículo 26 del RGPD.

Tales datos se tratarán mientras se mantenga en vigor el presente convenio de colaboración entre las partes y, posteriormente, se conservarán durante el tiempo necesario para cumplir con la finalidad para la que se recabaron y para determinar las posibles responsabilidades que se pudieran derivar de dicha finalidad.

Los interesados podrán ejercer los derechos de acceso, rectificación, supresión, portabilidad, limitación u oposición al tratamiento aportando copia de un documento oficial que les identifique (NIF-NIE, Pasaporte), y si fuera necesaria, documentación acreditativa de su solicitud ante:

– Consejo de Seguridad Nuclear.

Delegado de protección de datos del Consejo de Seguridad Nuclear.
Secretaría General.
C/ Pedro Justo Dorado Dellmans, 11.
28040-Madrid.

– Universitat Politècnica de València.

Delegado de protección de datos de la Universitat Politècnica de València.
Secretaría General.
Camí de Vera, s/n.
46022-València.

– Universidad Politécnica de Madrid.

Delegado de protección de datos de la Universidad Politécnica de Madrid.
Secretaría General.
c/ Ramiro de Maeztu, 7.
28040 -Madrid.
Contacto Delegado Protección de Datos: proteccion.datos@upm.es

– Universitat Politècnica de Catalunya.

Delegado de protección de datos de la Universitat Politècnica de Catalunya.
C/ Jordi Girona, 31 08034 Barcelona.
Contacto Delegado Protección de Datos: proteccion.datos@upc.edu

En caso de reclamación, la autoridad competente es la Agencia Española de Protección de Datos.

El plazo de conservación de los datos será el de la vigencia del presente convenio, sin perjuicio de lo dispuesto en la normativa aplicable.

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.

En tal caso, el CSN y las universidades UPV, UPC y UPM se comprometen a abonar el importe de las actividades y/o gastos incurridos comprometidos que, según el convenio, corresponda abonar a cada una de estas entidades y a los que ineludiblemente haya que hacer frente pese a la resolución del convenio.

Las partes con carácter general, y en particular las universidades UPV, UPC y UPM, emitirán 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 Octava y Novena.

Las partes manifiestan su conformidad con el presente convenio, en Madrid, a 10 de diciembre de 2024.—Por el Consejo de Seguridad Nuclear, el presidente, Juan Carlos Lentijo Lentijo.—Por la Universitat Politècnica de València, la vicerrectora de investigación, María Belén Picó Sirvent.—Por la Universitat Politècnica de Catalunya, el rector, Daniel Crespo Artiaga.—Por la Universidad Politécnica de Madrid, el rector, Guillermo Cisneros Pérez.

ANEXO 1

Memoria Técnica

1. Antecedentes

Un grupo considerable de organizaciones españolas, entre ellas el CSN, han promovido durante los últimos 30 años tareas encaminadas a la asimilación, mejora y aplicación de códigos termohidráulicos a las centrales nucleares españolas. Dichas colaboraciones se han instrumentado a través de distintos proyectos: LOFT España, ICAP-España, Proyecto CTC, Proyecto SETH, CAMP-España y, el más reciente denominado «Participación en los Proyectos de Mantenimiento de Códigos de NRC (CAMP) y Programas Experimentales Termohidráulicos de NEA/OECD (PKL, ATLAS Y RBHT), y su Aplicación a Plantas españolas (CAMP-España)». Todos los proyectos citados se desarrollaron de forma coordinada con sus respectivos programas internacionales y culminaron con su aplicación a las centrales nucleares españolas. El esfuerzo ha estado siempre justificado por la gran importancia que estos códigos tienen en el licenciamiento y diseño de los sistemas de protección, seguridad y salvaguardia de las centrales nucleares de la misma tecnología que la española.

Cada uno de estos proyectos ha permitido aumentar y mejorar la disponibilidad de modelos de instalaciones experimentales y de plantas españolas con un nivel de validación creciente. Si los primeros proyectos en su día permitieron fundamentalmente profundizar en los códigos RELAP5 y TRAC-P para las centrales PWR y en TRAC/B para BWR, los proyectos más recientes han hecho lo propio para los modelos para TRACE.

Estos proyectos están consiguiendo también mantener una comunidad nacional de expertos en el uso de los códigos con capacidades de actualizar sus prácticas al unísono con la comunidad internacional.

El CSN es signatario de los proyectos internacionales CAMP, OECD/PKL, OECD/ATLAS y RBHT, todos ellos relacionados con el análisis y simulación de secuencias accidentales en reactores nucleares. El primero de estos proyectos (CAMP) es de carácter analítico mientras que los de NEA/OECD son de carácter experimental, aunque también dan lugar a actividades analíticas. Adicionalmente, se ha elevado recientemente la propuesta al Pleno del CSN para la participación del CSN en un nuevo proyecto experimental de NEA/OECD denominado POLCA, y se tiene intención de presentar una nueva para el programa, también experimental de NEA/OECD, denominado SYSTHER. Seguidamente se incluye unas secciones con breve descripción de estos cuatro proyectos internacionales.

A continuación, se incluye una sección con diversas áreas de desarrollo del ámbito termohidráulico, resultado de una reflexión dentro del grupo de colaboración CAMP-

España que reúne al CSN, universidades, titulares de plantas y empresas de ingeniería, y que ha permitido identificar un conjunto de prioridades y consideraciones que modulan también el planteamiento de objetivos para esta nueva fase del proyecto CAMP-España.

2. Programa Camp de la USNRC. Participación española.

El Programa CAMP es un programa de cooperación internacional en el área de la investigación termohidráulica promovido por la United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC), que tiene como objetivo fundamental la verificación, validación, mantenimiento y aplicación de los códigos termohidráulicos RELAP5/MOD3 y TRACE. Estos códigos constituyen el estado del arte de la aplicación de la mecánica de fluidos bifásica a centrales nucleares de agua ligera, permitiendo la simulación de gran parte de los escenarios de hipotéticos accidentes, así como pruebas nucleares y/o incidentes reales ocurridos.

El CSN, en el marco de sus acuerdos de colaboración, mantiene de manera continua un acuerdo con la NRC para la participación en el programa internacional CAMP (*Code Applications and Maintenance Program*) centrado actualmente en los códigos RELAP5 y fundamentalmente TRACE. El acuerdo, además de una cuota, obliga a la entrega para su revisión, de dos contribuciones en especie (o actividades técnicas equivalentes) por cada año de vigencia, con la calidad suficiente para ser publicadas como *NUREG International Agreement Reports* (NUREG/IA).

Para una mayor difusión de toda la información disponible y su aplicación a las centrales nucleares españolas, el CSN ha promovido la participación de otras organizaciones españolas a través de convenios de colaboración. En etapas previas del proyecto y hasta la fecha, la estructura de CAMP-España ha reunido a cerca de una veintena de organizaciones nacionales.

Las actividades de participación en el Programa CAMP que se han venido realizando se pueden agrupar tal como sigue:

1) Contribuciones en especie. El acuerdo CAMP obliga, además de a una contribución económica, a la entrega al Programa CAMP Internacional de dos informes de evaluación por año o actividades de valor equivalente, con un nivel de compromiso en cuanto a calidad y contenido definido en el NUREG-1271. El Comité de Coordinación (CC) de CAMP-España analiza y aprueba las propuestas de cada una de las organizaciones participantes, y revisa las actividades presentándolos para su análisis y aprobación al Comité Técnico del Programa (TPC). El esfuerzo conjunto del país como contribución al programa internacional ha sido de una treintena de cálculos o estudios elaborados por todos los miembros de CAMP-España. Estas actividades debidamente documentadas y revisadas por diversos grupos de trabajo de la estructura nacional, son enviados a la USNRC para su revisión y publicación como documentos *NUREG International Agreement Reports* (NUREG/IA). En la última fase de CAMP-España, la USNRC ha publicado 8 informes NUREG/IA elaborados por distintas organizaciones españolas. Los últimos 9 pendientes de publicar, tras la revisión por el Comité de Coordinación de CAMP-España, se enviarán a la USNRC una vez satisfechos los condicionantes de la NEA de confidencialidad de los resultados.

2) Participación en reuniones de especialistas de CAMP-Internacional y de CAMP-España. El Comité Técnico del Programa (TPC) CAMP-Internacional convoca al año dos reuniones de especialistas. Representantes de CAMP-España han venido participando tradicionalmente en dichas reuniones, haciendo presentaciones relativas a la actualización del estado del proyecto en el país, de identificación de anomalías y/o errores, de descripción de contribuciones técnicas al proyecto o de otras actividades con los códigos. A su vez el Comité de Coordinación (CC) de CAMP-España convoca con cierta periodicidad la celebración de Jornadas Técnicas de CAMP-España (10 hasta la fecha), con un alcance a nivel nacional similar al de las reuniones internacionales.

3) Colaboración en la identificación y resolución de deficiencias en los códigos y en todas las herramientas soporte (manuales, códigos auxiliares, etc.). Uno de los objetivos

del Programa, explicitado directamente en el acuerdo CSN-USNRC, se refiere a la colaboración de los participantes en la identificación y resolución de problemas en los códigos termohidráulicos. Estas deficiencias encontradas se deben documentar en un formato establecido.

3. Proyecto ATLAS de NEA/OECD. Participación española.

La fase 3 del proyecto ATLAS de la NEA/OECD es la continuación natural del proyecto ATLAS, también de NEA/OECD, y tiene por objetivo la resolución de temas relacionados con la seguridad nuclear y asociados al comportamiento termohidráulico de reactores de agua ligera, mediante la realización de experimentos en la instalación ATLAS de KAERI.

ATLAS (*Advanced Thermal-Hydraulic Test Loop for Accident Simulation*) es una instalación experimental integral para reactores PWR avanzados que pertenece a KAERI. Como factor de escala corresponde a 1/2 en altura, 1/144 en área y 1/288 en volumen respecto al APR 1400. Como otras características más destacadas, en comparación por ejemplo con PKL, consta de solo dos lazos pero que permiten simulación de refrigeración asimétrica y, además, permite una simulación flexible de la distribución de potencia generada en el núcleo. Instalación adecuada para estudiar incidencia del factor de escalado, en especial, para fenómenos multidimensionales.

En esta fase se han incorporado a ATLAS unas conexiones desde líneas de primario y secundario a la instalación CUBE, con el objetivo de analizar el comportamiento termohidráulico multidimensional en la contención, en términos de presión y temperatura, simulando liberaciones de energía desde el sistema de refrigeración del reactor durante accidentes base de diseño (DBA) y más allá del DBA (DEC-A). Objetivos que se han planteado son los siguientes:

- Validación de metodologías de evaluación de liberación de masa/energía y comportamiento de presión/temperatura en una contención.
- Investigación de fenómenos multidimensionales y multifísicos en una contención.
- Validación de códigos y modelos de análisis de contención.

CUBE replica a una escala reducida una contención también del diseño APR1400 con el objetivo de conservar el comportamiento P/T en la contención del reactor durante una simulación transitoria de la interacción entre el RCS y la contención.

El diseño de CUBE para su acoplamiento con ATLAS se realizó con una metodología de escalado lineal preservando la relación volumétrica 1/288 de ATLAS, que corresponde a una relación de escala lineal del recinto igual a 1/6,6. Con ello se puede mantener una relación de aspecto de la instalación más similar a la de la contención real, lo cual es ventajoso para preservar un comportamiento adecuado de la circulación natural dentro de la contención.

Sobre la base de esta relación de escalado lineal, se determinó el tamaño de CUBE de acuerdo con una forma cilíndrica con dos elipsoides en las partes superior e inferior (relación altura/radio = 1/2), lo que resulta ventajoso para optimizar el espesor de las paredes y asegurar el mantenimiento de la integridad en términos de presión. La pared exterior del recipiente es de acero inoxidable con un espesor de 24 mm, y está rodeada por un material aislante y un sistema de calefacción externo para compensación de las pérdidas caloríficas.

Las fases anteriores de los proyectos ATLAS de NEA/OECD han incluido hasta 18 experimentos con temáticas de los siguientes grupos:

- Pérdida de potencia exterior prolongada (SBO).
- Pequeñas roturas durante SBO.
- Pérdida total de agua de alimentación (TLOFW).
- Rotura de tamaño intermedio (MBLOCA).

- Análisis de sistemas pasivos de inyección en el núcleo (hybrid SIT) en situación de SBO.
- Análisis de sistemas pasivos de ECCS (PECCS) en situación de SBLOCA.
- Roturas intermedias en la línea de compensación del PZR, o en la línea DVI (inyección directa a la vasija).
 - Condiciones de extensión de diseño (DEC-A) como SLB con SGTR.
 - Refrigeración en parada sin RHRS.
 - Diversos experimentos homólogos («counterpart») con PKL y/o ROSA, como el test LSTF (SB-PV-07) de SBLOCA en cabeza de la vasija.
 - Temas abiertos a las propuestas de los participantes.

La fase 3 del proyecto ATLAS, que entró en vigor a mediados de 2021 y se extenderá hasta finales de 2024, consiste en la realización de 10 experimentos dentro de las siguientes 5 temáticas:

- C1: Experimentos de descarga en contención.
 - Rotura de Línea de vapor (SLB) con ATLAS-CUBE.
 - Rotura del primario (LOCA) con ATLAS-CUBE.
- C2: Análisis de Sistemas de Seguridad Pasivos.
 - SBLOCA con PECCS (sistema pasivo de ECCS).
 - IBLOCA con PECCS (sistema pasivo de ECCS).
 - SLB con PAFS (condensador de aislamiento pasivo).
- C3: Análisis de Circulación Natural.
 - Circulación Natural Asimétrica.
- C4: Análisis de Condiciones de Extensión de Diseño (DEC-A).
 - Escenario de SBLOCA en condiciones de SBO.
 - Pérdida Total de Sumidero de Calor.
- C5: Series abiertas.

Tras discusiones en reuniones previas se decidió que fueran:

- Test «counterpart» del test LSTF (SB-PV-07) SBLOCA en la cabeza de la vasija.
- Test de caracterización de CUBE.

Tanto desde el *Programme Review Group* (PRG) como desde el *Management Board* (MB) de este proyecto, al igual que ocurre en otros proyectos similares de NEA, también se insiste a los participantes en el interés de colaborar con actividades analíticas de diverso tipo, como p. ej.: análisis *pre-test* para la determinación de las condiciones iniciales de realización de los experimentos; ejercicios *Benchmark* de intercomparación de resultados de códigos, o análisis *post-test*. Estas actividades analíticas se dirigen también a la ayuda:

- en la validación de códigos de análisis de seguridad para fenomenologías involucradas en estas extensiones del diseño, y
- en el estudio de la incidencia del factor de escala y validación de técnicas de escalado necesarias.

El proyecto está en línea con el informe «Nuclear Safety Research in OECD Countries: Major Facilities and Programmes at Risk (SESAR/FAP, 2001)»; con su actualización de 2007, «Support Facilities for Existing and Advanced Reactors (SFEAR)» de NEA/CSNI; y su actualización de 2021. En todos se aborda el importante problema

del mantenimiento de cierta infraestructura experimental, y se recomienda el apoyo internacional a ciertas instalaciones consideradas esenciales.

El CSN, consciente de estas problemáticas de seguridad, y también del consenso a nivel internacional para ayudar al sostenimiento de las instalaciones experimentales, en su reunión número 1620 de fecha 30 de marzo de 2022, aceptó la tramitación del acuerdo para la participación en la fase 3 del proyecto ATLAS, promovido y gestionado desde la NEA/OECD.

En el proyecto participan organizaciones reguladoras, suministradores principales, ingenierías, compañías eléctricas, organismos de investigación y universidades, de un amplio número de países (Alemania, Bélgica, Francia, Japón, República de Corea, España, Suiza, China, Estados Unidos y Emiratos Árabes).

La estructura de gestión y ejecución del proyecto es análoga a la de los anteriores proyectos, y de otros proyectos gestionados por NEA/OECD, y básicamente está formado por dos grupos: *Programme Review Group* (PRG) y *Management Board* (MB), constituidos por representantes de los países signatarios. En el PRG se discuten detalles técnicos: el diseño y los resultados de los experimentos, así como las actividades de simulación computacional de los mismos. El MB es el encargado de aprobar y dotar de recursos a la organización que ejecuta el programa experimental (*Operating Agent*, OA), KAERI en este caso. El PRG realiza dos reuniones al año durante el período de vigencia de los acuerdos.

Por otra parte, KAERI ha presentado las primeras ideas sobre posibles temáticas a incluir en una posible continuación del proyecto en su fase 4:

- D1: Experimentos de descarga en contención.
 - Efectividad del sistema de Aspersión de la Contención.
 - Efectividad del sistema pasivo de refrigeración de la contención (PCCS).
- D2: Análisis de Sistemas de Seguridad Pasivos.
 - SBLOCA con PECCS (sistema pasivo de ECCS) y con PAFS (condensador de aislamiento pasivo).
 - SBO con PAFS (condensador de aislamiento pasivo).
- D3: Análisis de Circulación Natural.
 - Circulación Natural Asimétrica inducida por la interrupción de circulación (NCI).
- D4: Análisis de Condiciones de Extensión de Diseño (DEC-A).
 - Rotura de Tubos (SGTR) con fallo de ECCS.
 - ATWS tras una pérdida de agua de alimentación (LOFW).
 - Test «Counterpart» de Circulación Natural en condiciones de DEC-A (LSTF TR-LF-14).
- D5: Series abiertas.

En caso de que el CSN firme dicho convenio con NEA para la participación en la fase 4 de ATLAS, el Comité de Coordinación de CAMP-España podrá ampliar o modificar ligeramente el alcance de esta propuesta para incluir actividades de esta nueva fase de ATLAS.

4. Proyecto RBHT de NEA/OECD. Participación española

El conocimiento detallado de la fenomenología durante la reinundación (*reflood*) del núcleo en diversos escenarios accidentales, y en particular la transferencia de calor en las barras de combustible, es esencial en la evaluación de la efectividad de los sistemas de inyección y refrigeración de emergencia (ECCS). Es una fenomenología muy

estudiada, que ha dado lugar a unos modelos mecanicistas basados en los mecanismos fundamentales que rigen la termohidráulica, en lugar de basarse en correlaciones empíricas que a menudo están restringidas a un rango concreto de aplicabilidad.

Sin embargo, los nuevos diseños de combustibles (materiales de vaina, de rejillas,...), las condiciones operativas en la actualidad (grado de quemado, niveles iniciales de oxidación,...), así como la necesidad de liberar ciertos conservadurismos en los modelos, vienen demandando una actualización de las bases de datos experimentales soporte que pueda conducir a la confección de modelos más realistas y modernos. La USNRC está promoviendo, con tal objetivo, un programa experimental en la instalación RBHT (*Rod Bundle Heat Transfer*) a través de la NEA/OECD. RBHT es una instalación experimental de efectos separados, situada en Penn State University (PSU), para el análisis de fenomenología de refrigeración local en varillas y elementos combustible. Fue diseñada y construida en 1998 con el objetivo de obtener datos para el desarrollo y la evaluación del código TRACE de la US NRC, especialmente en la fase de «reflood» del LOCA. Objetivos de la instalación son los siguientes:

- Simular la reinundación en un elemento combustible moderno con una distribución de termopares altamente detallada para medir un perfil de temperatura a lo largo del elemento.
- Obtener medidas de tamaño de gota antes y después de las rejillas separadoras para proporcionar mejores datos para la ruptura de la gota.
- Medir las temperaturas de la rejilla espaciadora para determinar el tiempo y las condiciones en que se produce el remojado de la rejilla.
- Obtener velocidades de gota.
- Obtener temperaturas de vapor con un detalle axial significativo.
- Obtener una medición detallada del gradiente de presión axial en el elemento.
- Realizar experimentos de manera que prolongue las condiciones relativamente estables para aumentar los datos en varios regímenes de transferencia de calor.

El objetivo fundamental del proyecto RBHT es la realización de nuevos experimentos en condiciones de la fase de reinundación (*reflood*) de un accidente LOCA, con condiciones de entrada no estacionarias ni constantes, y la realización de ejercicios *benchmark* (BM) para la simulación de los resultados con evaluación de las incertidumbres asociadas.

En concreto, el programa experimental explotará la capacidad de producir en RBHT diferentes caudales de entrada variable y medidas detalladas de los efectos de rejilla, del efecto del espaciador y de tamaños de gota. Se pretende realizar estudios paramétricos con una amplia variedad de condiciones de contorno e iniciales en presión, caudales de entrada, subenfriamiento a la entrada, calor residual, etc.

A partir de la evaluación de los resultados se espera desarrollar modelos termohidráulicos mejorados y más mecanicistas. Es decir, modelos para procesos físicos que se basen en los mecanismos fundamentales que gobiernan la termohidráulica, en lugar de basarse en correlaciones empíricas, dado que estas últimas a menudo se restringen a un rango específico de aplicabilidad.

En la fase I se realizaron numerosos casos experimentales para condiciones con tasas de reinundación iguales y superiores a 2,5 cm/s, pero pocos experimentos con tasas menores (por debajo de 2,5 cm/s) o caudales de entrada variables que son más probables en un escenario de hipotético accidente. La fase II se centrará en bajas tasas de reinundación, así como en bajos subenfriamientos a la entrada. Estas condiciones son relevantes para enfriamientos a largo plazo, y pueden ser de interés para algunos reactores modulares pequeños.

La matriz experimental incluye una variedad de condiciones que darán como resultado la ebullición de una película de gotas dispersas y el enfriamiento con vapor en gran parte del elemento. Las bajas tasas de inundación son únicas y representan una variedad de condiciones de inundación con muy poca información previa: tasas de

inundación (0,5 a 2,0 cm/s), subenfriamiento (5 y 20 K), y presión (138 a 413 kPa). La matriz experimental propuesta es:

1. Sensibilidad a la tasa de reinundación con bajo subenfriamiento de entrada.
2. Sensibilidad a la tasa de reinundación en el subenfriamiento de entrada de 20K.
3. Sensibilidad a la presión a una tasa de reinundación de 2,0 cm/s y subenfriamiento de entrada de 5K.
4. Sensibilidad a la presión a una tasa de reinundación de 0,5 cm/s con un subenfriamiento de entrada de 20K.
5. La fase I de este proyecto ha permitido identificar algunas posibles deficiencias en los códigos termohidráulicos empleados, y si bien se sabe que las rejillas espaciadoras tienen efectos importantes en el comportamiento de inundación, la fase I no se centró en estos efectos.

También, en la fase II se va a hacer énfasis en las condiciones termohidráulicas que han resultado difíciles de simular por los códigos, así como en los fenómenos relevantes durante la reinundación, incluido el arrastre del frente de remojado y los efectos de las rejillas espaciadoras.

La fase II se ha dividido en dos partes experimentales y analíticas. En la primera parte los experimentos serán abiertos, es decir, estarán disponibles en su totalidad lo antes posible. Esto permitirá a los participantes la oportunidad de desarrollar, mejorar o calibrar sus modelos y ficheros de entrada utilizados en la fase I.

La segunda parte se realizará a continuación con condiciones experimentales acordadas por los participantes, incluyendo algunos tests ciegos, en los que solo se proporcionarán las condiciones iniciales y condiciones frontera.

Se planteará la realización de simulaciones numéricas de los experimentos, y es deseable que se utilicen también métodos de análisis de incertidumbre del código para cuantificar las bandas de incertidumbre de las figuras de mérito. Se utilizarán las mismas figuras de mérito identificadas y utilizadas en la fase I.

Se contemplan un total de 16 nuevos tests, 11 abiertos y 5 ciegos, definidos en base a las recomendaciones y sugerencias de los participantes.

De todos estos tests se plantearán BM ciegos de comparación de resultados analíticos con distintos códigos. En estos ejercicios BM se realizarán simulaciones numéricas ciegas de un conjunto inicial de datos para examinar la capacidad predictiva de los códigos previa a la liberación de los datos experimentales. Parte esencial de esta fase ciega (*blind*) será la realización de una cuantificación de la incertidumbre de los códigos y de los modelos, importante en usos modernos que implican métodos de «mejor estimación» (BEPU). El proyecto es adecuado para involucrar a una amplia gama de herramientas computacionales: códigos termohidráulicos de sistema (RELAP5, TRACE), de subcanal (COBRA), y posiblemente CFD (FLUENT, ANSYS). La organización de unos talleres (*workshop*) permitirá compartir los resultados de los BM, experiencias de uso y análisis de sensibilidad e incertidumbre realizados.

En la propia propuesta de la USNRC, se indica que se trata de un programa experimental orientado también a la verificación/validación y desarrollo de herramientas de simulación termohidráulica (i.e., al objetivo de CAMP).

La duración del Proyecto RBHT es de 3 años, con fecha de comienzo de finales de 2023. La estructura de gestión y ejecución que se plantea para el proyecto es análoga a la de otros proyectos gestionados por NEA/OECD. Básicamente está formado por dos grupos: *Programme Review Group* (PRG) y *Management Board* (MB).

5. Proyecto POLCA de NEA/OECD. Participación española

El proyecto POLCA (*Pool during Loss of Cooling Accident*) tiene como objetivo el análisis experimental del comportamiento de piscinas de combustible gastado en condiciones de accidente por pérdida de refrigeración en condiciones de extensión de diseño. El proyecto se centra en ensayos en instalaciones a gran escala (MIDI y ASPIC

de la IRSN) con instrumentación dedicada al comportamiento termohidráulico de la piscina de combustible durante situaciones accidentales.

El proyecto contribuirá a la actual base de datos experimental de fenomenología en piscina, evaluará la eficiencia del rociado sobre los elementos combustibles de las piscinas de combustible, y los datos obtenidos serán directamente aplicables a la mejora y validación de herramientas y modelos de cálculo termohidráulico aplicables a condiciones accidentales en la piscina de combustible.

También permitirá, en cierta medida, ayudar en la validación de guías y estrategias para la reposición/refrigeración de la piscina de combustible implantadas en todas las CCNN tras las pruebas de resistencia post-Fukushima. Estas guías son parte de la solución establecida en diversos países, y en España en particular, para implantar sistemas (p. ej., FLEX) y guías adicionales (FSG, GMDE) con el objeto de mitigar accidentes denominados de extensión del diseño, y en particular, en piscinas de combustible gastado.

La IS-37 del CSN define la Extensión del Diseño, como el conjunto de medidas que forman parte de la defensa en profundidad de la instalación y que tienen como objetivo la mejora de la seguridad de la central mediante el refuerzo de las capacidades de la planta para soportar situaciones más demandantes que las consideradas en las bases de diseño, así como la reducción de emisiones radiactivas al medio ambiente. Se consideran dos categorías de condiciones de extensión del diseño (CED):

- CED-A: cuando es posible prevenir el daño severo al combustible, tanto en el núcleo como en los sistemas de almacenamiento de combustible gastado.
- CED-B: cuando se postula daño severo al combustible.

Dentro de los posibles escenarios DEC-A postulados se encuentran los accidentes en piscina del tipo de los previstos en POLCA.

El CSN, consciente de estas problemáticas de seguridad, y también del consenso a nivel internacional para ayudar al sostenimiento de las instalaciones experimentales, ha solicitado la participación en dicho proyecto internacional.

5.1 Descripción de las instalaciones experimentales de POLCA.

El proyecto POLCA hará uso de dos instalaciones experimentales: MIDI y ASPIC (IRSN), construidas para el proyecto DENOPI del IRSN (2013-2022) en el que se estudiaron tres fases del accidente de pérdida de refrigerante en la piscina de combustible gastado: procesos de convección y ebullición antes del descubrimiento de los elementos combustibles; procesos y fenomenología de degradación u oxidación de vaina antes y después del descubrimiento del combustible en condiciones de mezclas aire/vapor.

La instalación MIDI es una réplica a escala de una piscina de combustible de un reactor PWR francés que permite simular diferentes etapas del accidente mediante la variación de parámetros como el nivel inicial de la piscina (de 0,5 a 4,5 metros por encima del bastidor de almacenamiento simulado de 3 x 7 celdas), el patrón de carga en el bastidor de almacenamiento o la potencia general (de 0 a 50 kW considerando la distribución de calor residual en piscina) y una potencia de calentamiento total máxima de 300 kW.

La instalación ASPIC es una réplica de un elemento combustible PWR 900MWe estándar, haz de varillas de 17 x 17 de 4 metros, con toda la estructura asociada de boquilla, rejillas espaciadoras y rejillas de mezcla. Por ello, la instalación ASPIC permite el desarrollo de experimentos a escala combustible con descubrimiento parcial o total estudiando el efecto de diferentes medios de mitigación como aspersion o inyección de agua en función del calor residual, nivel de agua, caudal másico de pulverización y temperatura de pulverización.

El proyecto POLCA tendrá una duración de cuatro años, e incluirá una parte experimental y otra parte analítica (tal cual se hizo en el proyecto DENOPI).

5.2 Actividades propuestas.

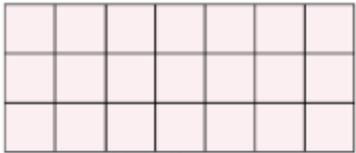
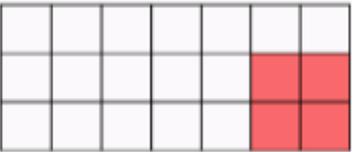
Las actividades propuestas en POLCA se dividen en 3 programas de trabajo: WP1, WP2, WP3.

- WP1. Escala piscina de combustible. Instalación MIDI.

El WP1 tiene como objetivo mejorar el conocimiento de los fenómenos termohidráulicos a escala de piscina (instalación MIDI) en una geometría 3D e investigar el impacto de parámetros relevantes como el nivel de agua por encima de los racks.

La tabla 1 muestra la propuesta de configuración de carga de los elementos combustible en piscina de la instalación MIDI: carga localizada simulando núcleo descargado en piscina en un área determinada, o configuración de elementos combustible uniformemente distribuidos en piscina.

Tabla 1. Propuesta de carga de elementos combustible en piscina

Reference	Loading pattern	Hot cells	Cold cells	MIDI rack view
LP1	Uniform	21 (100% overall power)	/	 <p>LP1: Uniform</p>
LP3	Hot spot	4	17	 <p>LP3: Hot spot</p>

La tabla 2 muestra la propuesta de matriz experimental (un total de 20 ensayos) considerando como parámetros geometría de carga, potencia de calentamiento para conseguir vaporización, concentración de oxígeno a relacionar con condiciones de vaporización (*flashing*), condiciones en superficie de piscina relacionadas con la concentración de vapor y fenómenos convectivos y pérdidas de carga relacionadas con la presencia de *debris* en los racks de almacenamiento.

Tabla 2. Propuesta de matriz experimental en piscina (en negrita: estudio paramétrico)

Test ID	Loading pattern	Overall heating power (kW)	Initial O ₂ concentration (mg/l)	Free surface condition (opened/ confined)	Head losses of the heating cells
VAP	LP1/LP3	25-75-140-260- 300	6	opened	standard
GAS	LP1	120-300	<3-6-8	opened	standard
CONF	LP1/LP3	300	6	confined	standard
DROP	LP3	300	6	opened	Increased

- WP2. Escala elemento de combustible. Instalación ASPIC.

El WP2 tiene como objetivo estudiar la cinética de enfriamiento de un elemento combustible con diferentes escenarios de mitigación en condiciones de pérdida de refrigerante en piscina considerando suministro de agua ya sea desde la parte superior por rociado o desde la parte inferior del elemento. Se estudiaría el impacto de diferentes parámetros (véase tabla 3) sobre la temperatura límite alcanzada como son el nivel de

agua (constante, variable o un escenario completo desde la fase de pérdida de inventario en piscina hasta la fase de rellenado - *refilling*).

Tabla 3. Propuesta de matriz experimental en elemento combustible

Reference	Scenario	Residual power (kW)	Initial water covering the assembly (m)	Injection mass flow rate (g/s)	Trigger rod temperature for injection (°C)
BUNDLE1	VWL	10-20	1	10 to 50	110
	BO		no aplica		300 to 450
BUNDLE2	VWL	10-20	0	10 to 50	110
	BO	20	no aplica		300 to 450
BUNDLE3	CWL	20	2	20 to 50	110
	BO	30	no aplica	10 to 50	300 to 450

– WP3. Grupo analítico.

En el Proyecto POLCA se obtendrán datos experimentales nuevos que se compararán con los resultados obtenidos en las simulaciones llevadas a cabo por los participantes. La capacidad de predicción de los códigos termohidráulicos, así como la aplicación de los resultados para la evaluación de estrategias de mitigación suponen un pilar importante en el análisis de accidentes, por lo que la participación en el proyecto es de importancia para la regulación por parte del CSN.

Este WP3 acomete la consecución de los siguientes objetivos:

– Identificar las necesidades de configuración de las matrices experimentales. La simulación de pruebas permitirá ajustar la matriz mostrada en las tablas 2 y 3 de WP1 y WP2.

– Ejercicios de benchmarking y análisis de sensibilidad para comparar los resultados de POLCA con resultados de códigos de sistema 1D/3D, códigos CFD, accidentes por pérdida de refrigerante y códigos de accidentes severos. Se incorporarán ejercicios de evaluación (simulación ciega) utilizando los resultados experimentales de DENOPI disponibles y simulación abierta para comparar modelos e identificar sus necesidades.

– Recomendar modelos para la simulación de piscinas de combustible gastado dependiendo del transitorio y de los propósitos/problemas de la simulación.

– Recomendar posibles instrumentos a implementar en un experimento a gran escala.

6. Proyecto SYSTHER de NEA/OECD. Participación española

El proyecto OCDE/SYSTHER (SYStem THERmohydraulics) va a aglutinar actividades experimentales TH en tres localizaciones diferentes:

- el programa PKL III K llevado a cabo en la instalación PKL de Framatome;
- las actividades experimentales de la Universidad Tecnológica de Lappeenranta-Lahti (LUT) en las instalaciones PWR-PACTEL y PASI;
- experimentos en la instalación MISTRA realizados en el *Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives* (CEA).

Se prevé una fecha de inicio de 1 de enero de 2025 y una duración de 48 meses hasta finales de diciembre de 2028.

6.1 Programa experimental en PKL.

Entre 2001 y 2024 se han desarrollado en la instalación PKL sucesivos programas internacionales de termohidráulica experimental auspiciados por la OECD (SETH, PKL,

PKL2, PKL3, PKL4 y ETHARINUS). En todos estos programas PKL de NEA/OECD ha habido partición española a través de distintos convenios CAMP-España.

Los experimentos realizados en PKL hasta la fecha han contribuido, en su conjunto, a una mejor comprensión de los procesos termohidráulicos complejos que intervienen en distintos escenarios accidentales en una central PWR, así como al planteamiento y evaluación de medidas mitigadoras de accidentes, proporcionando además una valiosa información sobre los márgenes de seguridad disponibles en las centrales. Los resultados de los experimentos se han aplicado también a la validación y al desarrollo de los códigos de simulación termohidráulica. Hasta la fecha en estos programas de NEA/OECD se han realizado más de 150 experimentos integrales, cubriendo un espectro muy amplio de temáticas de seguridad:

- Dilución de boro tras SBLOCA.
- Accidentes de pérdida de capacidad de extracción de calor en situaciones de operación en parada con inventario reducido con el sistema primario cerrado y abierto.
- Estudio sistemático de los mecanismos de transmisión en los generadores de vapor (GG.VV.) en presencia de mezclas agua/vapor/nitrógeno.
- Procedimientos de enfriamiento en condiciones de circulación natural asimétrica (p.ej., con GG.VV. aislados y con secundarios vacíos).
- Investigación de transitorios de enfriamiento rápido (roturas en líneas de vapor).
- Investigación de situaciones accidentales que requieren maniobras de condensación y reflujo (*reflux condensation*) para diseños PWR avanzados.
- Precipitación de boro tras un LBLOCA y análisis de maniobras de recuperación.
- Maniobras de enfriamiento del primario con formación de burbuja en la cabeza de la vasija.
- Transitorios SBLOCA con fallos en los sistemas de inyección, maniobras de enfriamiento y despresurización con GG.VV. (experimento «counterpart» de uno realizado en ROSA/LSTF).
- Escenarios de Extensión del Diseño, SBO de larga duración y SBLOCA con fallo de los sistemas de seguridad.

Los experimentos realizados en PKL hasta la fecha han contribuido, en su conjunto, a una mejor comprensión de los procesos termohidráulicos complejos que intervienen en distintos escenarios de accidente, así como al planteamiento y evaluación de medidas mitigadoras de accidentes, proporcionando además una valiosa información sobre los márgenes de seguridad disponibles en las centrales. Los resultados de los experimentos se han aplicado también a la validación y el desarrollo de los códigos de simulación termohidráulica.

Se ha realizado el desmantelamiento y el desguace de la instalación a partir de abril de 2024. Los experimentos que constituyen el programa PKL III K emanan de campañas experimentales realizadas antes del cierre de la instalación, completadas meses previos al inicio del desmantelamiento. Esto significa que el conjunto de temas y escenarios abordados en la fase K de PKL, así como las condiciones frontera e iniciales y el procedimiento ya no se pueden cambiar.

Sin embargo, la selección de los temas de prueba refleja un amplio espectro de temas actuales en el debate sobre la seguridad nuclear y el correspondiente trabajo analítico con códigos de sistemas termohidráulicos.

Principales características de la instalación experimental PKL:

- Instalación de TH integral que simula una planta PWR (diseño Konvoi de KWU) de 1300 MW.
- Dispone de 4 lazos idénticos y simétricos en torno a la vasija, incluyendo todos los sistemas de seguridad y de operación más relevantes.
- La escala de alturas es 1:1 y de diámetros 1:12 (i.e., escala 1:145 en volumen y potencia).

- Los lazos de refrigeración son idénticos (longitudes y fricciones). El downcomer de la vasija está simulado mediante un anillo y dos tuberías paralelas.
- Dispone de una extensa instrumentación (1500 puntos de medida) en temperatura, presión, caudal (monofásico y bifásico), así como una instrumentación única en concentración local de boro.
- Durante la fase PKL-4 se acometieron una serie de cambios en la instalación: nueva línea de baipás del caudal de salida de la vasija, internos del *plenum* superior, mejoras en la instrumentación, y se ha modificado la cabeza y *plenum* superior de la vasija, para representar un diseño de vasija más cercano al del diseño PWR-W y EPR.

Se han propuesto los siguientes temas en el programa PKL III K:

K1	<p>Escenarios SB-LOCA (3 experimentos).</p> <ul style="list-style-type: none"> – Secuencia SB-LOCA de extensión de diseño (DEC) (rotura de 20 cm² en rama fría, 2 runs). – Secuencia SB-LOCA de extensión de diseño (DEC) (rotura en cabeza de vasija con fallo de HPIS, counterpart PKL/LSTF). – Secuencia SB-LOCA de extensión de diseño (DEC) (rotura en plenum inferior, counterpart PKL/LSTF).
K2	<p>Enfriamiento en modo de operación de circulación natural (1 experimento).</p> <ul style="list-style-type: none"> – Estudio paramétrico de enfriamiento en circulación natural bajo condición asimétrica con SACO (4 runs).
K3	<p>Fallo de RHRS durante la operación a medio lazo con RCS abierto (3 experimentos).</p> <ul style="list-style-type: none"> – Análisis de eventos y fenomenología del accidente de pérdida de RHRS en operación a medio lazo y RCS abierto (diseño EPR). – Análisis de estrategias de gestión del accidente de pérdida de RHRS en operación a medio lazo y RCS abierto (diseño EPR). – Análisis de eventos y fenomenología de reflujo de refrigerante desde la piscina del reactor en el accidente de pérdida de RHRS en operación a medio lazo y RCS abierto (diseño EPR).
K4	<p>Eficacia de los sistemas pasivos: estudios paramétricos de la eficacia de SACO (3 experimentos).</p> <ul style="list-style-type: none"> – Estudio paramétrico de la capacidad de SACO en función del nivel en la piscina. – Estudio paramétrico de la capacidad de SACO en función de la cantidad de nitrógeno en tubos de SACO. – Estudio paramétrico de la capacidad de SACO en función de la presión del lado secundario.
K5	<p>Investigación de los procedimientos de enfriamiento después del SGTR (3 experimentos).</p> <ul style="list-style-type: none"> – Estudio paramétrico sobre la condensación y la disminución de presión en el lado secundario después de bajar el nivel de SG en el haz de tubos en U (frío). – SGTR con enfriamiento mediante el SG defectuoso con disminución de nivel del SG. – Transitorio DEC SGTR (rotura múltiple) con enfriamiento por SACO.
K6	<p>Estrategias de mitigación de ELAP con SACO (2 experimentos).</p> <ul style="list-style-type: none"> – Estrategias de enfriamiento con SACO en escenario DEC ELAP/SB-LOCA). – Estrategias de enfriamiento con SACO en escenario DEC ELAP/SGTR).

La estructura especial del programa PKL III K con experimentos ya realizados, hace que el énfasis se ponga en los ejercicios de validación de códigos. Los *benchmark* pueden comenzar inmediatamente después del inicio de la reunión inicial y de la selección de series candidatos adecuados. Framatome se compromete a ayudar en la coordinación en sus tareas iniciales de organización y de definición de especificaciones, como en las finales de evaluación y comparativa de los resultados.

6.2 Programa experimental de LUT (Universidad de Lappeenranta-Lahti).

La universidad de LUT ha participado en diferentes proyectos internacionales recientes de la serie PKL (Fase 3 durante 2012-2016, Fase 4 2016-2020, ETHARINUS 2020-2024) con distintas series experimentales en la instalación PACTEL-

PWR. Cabe destacar experimentos de remojado, reinundación, circulación natural, pequeñas roturas, accidentes por pérdida de refrigerante, pérdida de agua de alimentación de generadores de vapor, enfriamiento de emergencia del núcleo impulsado por gravedad, fenómenos de limitación de flujo a contracorriente, fugas primario-secundario, ATWS, comportamiento del ácido bórico, estratificación de temperatura, comportamiento de gases no condensables en circuito primario, entre otros.

En el proyecto SYSTHER, LUT propone continuar con series experimentales en PACTEL, así como en otras dos instalaciones disponibles en LUT: la instalación PASI, replica de un sistema de refrigeración pasiva, y la instalación MOTEL, equivalente a un SMR diseño NuScale.

La instalación PWR PACTEL fue diseñada para análisis del comportamiento de los PWR con generadores de vapor de tubo en U invertida, como el EPR. La instalación consta de:

- Vasija a presión de reactor, dos generadores de vapor con tubos en U verticales, presionador y sistemas de refrigeración de emergencia del núcleo, incluidos acumuladores impulsados por nitrógeno.
- El núcleo se simula con un haz de barras de 144 calentadas eléctricamente.
- La potencia máxima del núcleo corresponde aproximadamente a la potencia de calentamiento residual calculada del reactor EPR.
- La escala en volumen entre PWR PACTEL y EPR es aproximadamente 1/405.
- Los dos generadores de vapor verticales tienen 51 tubos dispuestos en cinco grupos con diferentes longitudes, con una escala 1/4 en altura de los generadores de vapor en la planta EPR. El área de transferencia de calor de los haces de tubos de intercambio de calor y el volumen del lado primario de ambos generadores de vapor se reducen a una proporción de 1/400.

La instalación PASI se diseñó como un sistema pasivo de refrigeración de contención abierto, para mejorar la comprensión de los sistemas pasivos abiertos de eliminación de calor, identificar mecanismos físicos que pueden reducir el rendimiento o impedir el funcionamiento del circuito.

Características de PASI son:

- Consta de un sistema de vapor, un sistema abierto de circulación natural y sistemas de medición y adquisición de datos.
- La escala de altura de diseño de la instalación PASI versus el sistema de referencia es 1:2.
- El sistema de vapor incluye un suministro de vapor, un recipiente a presión que simula las condiciones de contención y un sistema de drenaje de condensado.
- El sistema de circulación natural abierto contiene un intercambiador de calor con tubos inclinados.
- La piscina de agua actúa como depósito de agua y disipador de calor para el sistema de circulación natural.

La instalación MOTEL-SMR es un modelo prototípico de un SMR diseño NuScale. Características relevantes son:

- La vasija a presión consta de cuatro módulos principales: un núcleo (con varillas calefactadas eléctricamente), un tubo ascendente caliente, un presionador y un volumen anular de bajante.
- El secundario consta de un depósito de agua, un sistema de inyección de agua de alimentación, el generador de vapor de tubos helicoidales y un sistema de vapor. Los haces de tubos y colectores del generador de vapor están ubicados dentro del recipiente a presión en la parte superior del espacio anular del bajante.
- Se preserva la escala 1:1 en altura.

– Opera pasivamente mediante circulación natural en el primario, y de manera activa en el secundario (el agua de alimentación del depósito de agua se bombea a través de un colector de agua).

La matriz experimental propuesta por LUT contiene cinco series relativas a las siguientes temáticas:

– Series en PACTEL PWR:

- Test representativo de una prueba nuclear (Olkiluoto 3, disparo de reactor con disparo de bomba).
- Experimento SBLOCA con fallos múltiples (fallo de las válvulas de retención del sistema de inyección de seguridad, la pérdida de energía externa y fallo de uno de los generadores diesel de emergencia).

– Series en PASI:

Estudio paramétrico en caudales de entrada/salida.

– Series abiertas (2 experimentos)

- Experimento «counterpart» PACTEL PWR con LSTF/PKL (P.e., PKL III K1 de SBLOCA en cabeza de vasija).
- Experimento «counterpart» PACTEL PWR con LSTF/PKL (P.e., PKL III K1 de SBLOCA en plenum inferior).
- Tests de caracterización del GV de MOTEL.
- Experimento de fuga primaria a secundaria en MOTEL.
- Experimento de pequeña rotura en el downcomer de MOTEL.

6.3 Programa experimental 3 en la instalación MISTRA.

El programa experimental MISTRA (*Mitigation and STRAtification*), forma parte del programa de CEA sobre accidentes severos en Reactores PWR, centrado en la termohidráulica de la contención y riesgo de hidrógeno. La temática queda fuera del ámbito tradicional del programa CAMP-España.

7. ISP-52 (*International Standard Problem*) sobre M-SGTR

Se ha propuesto en el grupo WGAMA del CSNI de NEA llevar a cabo un análisis, así denominado, ISP (*International Standard Problem*), en la instalación PKL, sobre un accidente DEC-A. Este ISP está promovido y organizado por el grupo de WGAMA/WGFS para la edición de un informe de estado del arte de análisis de DEC-A, y avalado desde el CSNI de NEA/OECD. Los ISP de la NEA son ejercicios internacionales de comparación de resultados de códigos de simulación termohidráulica y de resultados experimentales muy reglados y estructurados que coordina un promotor, en este caso ENEA, sobre los resultados de un experimento particular de una instalación particular, en este caso de la instalación PKL.

La propuesta actual de ISP-52 consiste en la realización de:

1. un ejercicio ISP abierto (i.e., con disponibilidad completa de la descripción de condiciones de contorno e iniciales, y de los resultados experimentales) de un experimento de MSGTR (SGTR múltiples en todos los GV) en PKL;
2. un ejercicio ciego (i.e., sin disponibilidad previa de los resultados experimentales) y otro abierto.

El trabajo propuesto se justifica en un amplio contexto internacional de realización de ejercicios conjuntos de validación de los códigos termohidráulicos frente experimentos en instalaciones integrales, p.ej., recientemente en los proyectos PKL, ATLAS y ROSA de NEA, anteriormente mencionados. También está en relación con diversas actividades

internacionales encaminadas a conseguir experiencia y evidencias experimentales y analíticas sobre escenarios de extensión de diseño (DEC-A).

Los ejercicios ciegos permiten comparar y evaluar la capacidad de los códigos BE (de estimación óptima) en términos de su capacidad predictiva, y así mejorar la confianza en ellos como herramientas de evaluación para abordar cuestiones de seguridad. Este tipo de ejercicios también permiten identificar y resaltar las posibles deficiencias en los códigos, y ayudar así a los usuarios a identificar los límites en la simulación. Se mejora con ello, en definitiva, la capacidad de análisis, se proporciona información para la cuantificación de las incertidumbres, se puede sugerir experimentos necesarios para reducir las ambigüedades técnicas identificadas, y se evalúa la eficiencia y la precisión de los códigos.

Para la fase ciega se proporcionarán las condiciones frontera e iniciales de test de PKL III J5.1 que reproduce la respuesta termohidráulica de un accidente por rotura de múltiples tubos en U de generador de vapor después de un terremoto. Los objetivos del test PKL III J5.1 son:

- Investigar la eficacia del procedimiento de despresurización del primario y enfriamiento del núcleo bajo fallos múltiples durante un escenario de MSGTR (4 tubos en U rotos en cada uno de los 4 SG);
- Obtener el caudal de rotura entre el lado primario y secundario en los GG.VV. individuales; y
- Encontrar posibles dependencias de la despresurización del primario a través de válvulas de alivio del PRZ.

Se prevé la participación de organizaciones internacionales de todo el espectro de partes interesadas del sector nuclear, i.e., reguladores, institutos de investigación, ingenierías, titulares de CCNN.

8. *Áreas temáticas prioritarias de investigación en simulación termohidráulica*

Dentro del Comité de Coordinación del grupo de CAMP-España, que reúne al CSN, universidades, titulares de plantas y empresas de ingeniería, se ha continuado con el ejercicio de reflexión para determinar el conjunto de prioridades y consideraciones que deben modular el planteamiento de objetivos para esta nueva fase de CAMP-España. Como resultado de la reflexión se ha llegado a las siguientes conclusiones:

– Siguen apareciendo necesidades de desarrollo y análisis en el ámbito de la investigación termohidráulica. Si bien es una disciplina madura y consolidada, resulta conveniente y necesario seguir colaborando con los escasos programas de experimentación termohidráulica en el sector nuclear, aportando la experiencia analítica con los códigos termohidráulicos. Se considera que los programas experimentales actualmente promovidos y organizados desde la NEA/OECD, cubren gran parte de la necesidad experimental de análisis de escenarios accidentales.

– Se considera que debe mantenerse como objetivo importante de la serie de proyectos CAMP el sostener el desarrollo de modelos de las centrales nucleares españolas con los códigos TH más actuales y la verificación y validación (V&V) de los mismos. Se ha invertido un cierto esfuerzo en el pasado a tal fin, y se cree necesario mantener recurrencia en este tipo de objetivos, mediante el aprovechamiento de la experiencia experimental adquirida al ámbito de las instalaciones comerciales, uso o mejora de las metodologías de cuantificación de incertidumbres y de las técnicas de escalado.

– Se considera muy importante el seguir dando pasos en el desarrollo de técnicas y herramientas que faciliten la verificación y validación (V&V) cuantitativa de los resultados obtenidos con este tipo de herramientas. Además de la necesidad de emplear metodologías BEPU y de escalado, el uso de soluciones informáticas y metodológicas a

tal fin, como ACAP (*Automatic Code Assessment Platform* de la NRC) o el Post-procesador Termohidráulico diseñado en el CSN facilitan tal tarea.

– Las metodologías realistas con análisis de incertidumbres (BEPU) son métodos cada vez más consolidados y extendidos que cuentan con una amplia red de usuarios e investigadores a nivel mundial. Se considera importante que se amplíen las aplicaciones y que, de manera recurrente, cada cálculo realizado lleve anejo su análisis de incertidumbres y/o sensibilidad. La potencia de cálculo actual y herramientas CAMP disponibles (SNAP) facilitan tal objetivo.

– El estado actual del sector nuclear ha hecho que aparezcan necesidades de evaluación de la seguridad de sistemas, estructuras y componentes no tan tradicionales como los sistemas de seguridad de las plantas. Tal es el caso de las piscinas de combustible gastado y los contenedores. Se considera muy necesario habilitar métodos, herramientas, modelos y usuarios para tales aplicaciones de los códigos, no tan convencionales. Conocer las posibles limitaciones de los códigos a tales aplicaciones es también fundamental.

La propuesta que sigue es un intento de dar respuesta a las consideraciones generales anteriormente enunciadas, definir las prioridades del CSN con un enfoque nuevo para esta edición de CAMP. Estas áreas temáticas de interés se han estructurado en tres amplias líneas.

1) Análisis de experimentos de los programas de la NEA/OECD.

A. Realización de análisis pre-test y post-test de validación, y de aplicación a las centrales nucleares españolas con las versiones actuales de los códigos disponibles en la comunidad termohidráulica española en aspectos fenomenológicos de las series experimentales de los programas SYSTHER, POLCA, ATLAS y RBHT. Se usará fundamentalmente TRACE, aunque se podrá utilizar también RELAP5 en casos identificados de interés y con propósito de comparación con TRACE, o en casos para los que se determine que TRACE no es adecuado.

B. Participación en el ISP (International Standard Problem) de ACME (Advanced Core-cooling Mechanism Experiment).

2) Propuestas de contribuciones CAMP sugeridas desde la USNRC.

La USNRC, en las reuniones semestrales del programa CAMP, presenta las novedades y modificaciones acometidas en los códigos (TRACE y RELAP5), y presenta a los participantes una propuesta de mejoras y análisis en los aspectos donde los desarrolladores de los códigos necesitan una ayuda de evaluación y/o de desarrollo. Esta lista suele ser abierta, pues en cada reunión (2 al año) el contenido va cambiando. Siempre se insiste en que los análisis se centren en la medida de lo posible en estudios de «assessment» con TRACE, que prueben o desafíen los nuevos modelos y prestaciones del código. En las últimas reuniones algunas de estas sugerencias han sido:

– «Assessments» con experimentos en instalaciones integrales (p. ej. las de los proyectos de NEA, PKL, ATLAS y RBHT anteriores).

– Aplicaciones y desarrollos en el ámbito de reactores experimentales y de investigación.

– Módulo ECI (*External Communication Interface*), que permite el acoplamiento con otros códigos o plataformas computacionales.

– Aplicación y evaluación de la nueva numérica implícita y mejora de la robustez.

– Modelos de varillas de combustible y de espaciadores.

– Modelos de fracción de huecos y de gotas en situaciones Pre-CHF, y mejoras en la robustez de la resolución numérica del campo de gotas de líquido.

– Desarrollo, aplicación y evaluación de mejoras en la modelación de sistemas de control, factores de forma en caudales en régimen laminar (al estilo de RELAP5).

- Desarrollo, aplicación y evaluación de un modelo de transmisión de calor en geometrías rectangulares y placas planas (al estilo RELAP5).
- Desarrollo, aplicación y evaluación del tratamiento de las propiedades de sales fundidas (FLiBe, FLiNaK, KFZrF4, and NaFZrF4; contribución de ORNL).
- Implantación de paquetes numéricos avanzados (PETSC, ...).
- Implantación de nuevos modelos de válvulas (de muelle y de disco.).
- Mejora de la modelación y simulación de sistemas de control.
- Acoplamiento de TRACE con Lua/Python para poder implantar módulos (externos) en TRACE.

Al ser abierta esta lista de sugerencias, se deberá hacer un seguimiento y actualizar el contenido de esta actividad, en función de las necesidades y propuestas que se vaya haciendo desde el proyecto CAMP de la USNRC.

3) Análisis soporte para la consolidación de herramientas TH en España.

A. Análisis de diseños de combustibles ATF. Como se ha indicado anteriormente, el objetivo de esta actividad es iniciar una línea de investigación nacional que pudiera dar soporte analítico a las organizaciones nacionales interesadas en este tipo de combustibles, en el futuro. Se pretende explorar las capacidades actuales de los códigos CAMP (tanto neutrónico, termomecánico y termo-hidráulico, como incluso de accidente severo) para representar este tipo de diseños de combustible, para identificar bondades y deficiencias, y colaborar en la eventual resolución de éstas. Esta línea requiere, por tanto, la puesta a punto de capacidades de simulación neutrónica, termomecánica y termohidráulica acopladamente, por lo que la interacción PARCS-TRACE, y sus componentes que emulan a FRAPCON y FRAPTRAN, resulta esencial para estas actividades. También será esencial una interacción cercana con las organizaciones interesadas (centrales e ingenierías), para acceder a la información más realista disponible en la industria.

B. Validación de componente VESSEL (3D) de TRACE. Aunque en los últimos años se ha comenzado a utilizar esta componente de TRACE en diversas aplicaciones y análisis, todavía se carece de una gran experiencia y confianza en su uso. Existe una amplia base de datos de experimentos, tales como ROCOM de los programas PKL, UPTF, o incluso otras que se puedan identificar, en donde se dispone de información experimental de carácter tridimensional. Asimismo, una conclusión bastante recurrente de las reuniones de expertos y workshops (p.ej., en el contexto de los programas experimentales de la NEA) ha sido la conveniencia de utilizar los resultados experimentales de los programas para validar componentes 3D de los códigos de sistema.

C. Mejoras y Aplicaciones de Metodologías BEPU. Los análisis de accidentes de plantas nucleares se han realizado, tradicionalmente, con modelos computacionales e hipótesis de carácter conservador. A finales de los años 1980 se empezó a autorizar internacionalmente el uso de modelos e hipótesis realistas con estimación de incertidumbres, también llamados BEPU («Best Estimate Plus Uncertainty»). Desde entonces, las metodologías BEPU de análisis de accidentes han ido aumentando su presencia en Seguridad Nuclear. Por otro lado, la regulación de los análisis LOCA/ECCS se está modificando actualmente, a nivel internacional. Existe un proyecto de cambio de uno de los criterios reguladores de aceptación a corto plazo, referido al espesor de óxido permitido en las vainas de combustible (Zircaloy). En lugar de establecerse un límite regulador universal del 17 % del espesor original de vaina, la USNRC proyecta ahora establecer una condición más restrictiva, consistente en un límite dependiente del contenido inicial de hidrógeno en la vaina. En Alemania este cambio ya se ha llevado a cabo. Este cambio obligará probablemente a repetir los análisis de LOCA de las plantas españolas, y al menos uno de esos nuevos análisis se haría con metodología BEPU. Por ese motivo, se debe estar preparado para mantener y mejorar la capacidad en la

evaluación de metodologías BEPU y sus aplicaciones, y las herramientas y metodologías necesarias deben estar dispuestas y validadas para tal tipo de aplicaciones.

Las metodologías BEPU actuales se basan, en su mayoría, en la modelación probabilista de la incertidumbre. Existe un procedimiento que se considera esencialmente adecuado para la propagación de incertidumbre a través de modelos de cálculo, y es el análisis de Monte Carlo, especialmente el llamado Monte Carlo puro, que se basa en el muestreo aleatorio simple (MAS) de los inputs (modelados como variables aleatorias) y el cálculo con el modelo computacional (p.ej. con un código CAMP), de manera que se obtienen muestras aleatorias simples de los resultados del cálculo. El problema es que, cuando el cálculo con el modelo consume mucho tiempo y recursos, un Monte Carlo completo (que permita la estimación precisa de la distribución de probabilidad de los resultados) es prohibitivo. Una posibilidad más económica es la de utilizar una muestra de tamaño moderado y utilizarla para construir lo que se llama un intervalo de tolerancia del resultado de seguridad; se trata de un intervalo que contiene a dicho resultado con, al menos, un nivel preestablecido de tolerancia. Los reguladores exigen típicamente un nivel (95, 95), y eso significa la construcción de intervalos que contengan al resultado de seguridad con, al menos, una probabilidad 0.95 y una confianza estadística del 95%. Intervalos de este tipo son suficientes para demostrar el cumplimiento del criterio regulador de aceptación; y para construirlos bastan sólo unas decenas de cálculos con el código.

Existe un método de construcción de intervalos de tolerancia universalmente utilizado y empleado: el método de Wilks, basado en estadísticos de orden. Este método es válido para figuras de método escalares, pero tiene una extensión (llamada método de Wald) aplicable al caso en que se tienen que verificar varias figuras de mérito simultáneamente), Estos métodos tienen una especial aceptación por los reguladores, porque requieren un mínimo de hipótesis, y son conservadores en relación con otros métodos.

D. Mejoras y Aplicaciones de Metodologías de Escalado. La validación experimental de los códigos y métodos de análisis de accidentes se basa en experimentos que normalmente se realizan en instalaciones a menor escala que la de las plantas nucleares reales. El análisis de escala («scaling») constituye un elemento clave en la interpretación de los resultados obtenidos para instalaciones experimentales, para su extrapolación a resultados de planta. El análisis de escala permite, a través de un análisis dimensional, establecer los grupos adimensionales de variables que posibilitan la comparación entre las diversas instalaciones y los resultados de planta. Este tema es de gran importancia a la hora de establecer el impacto del escalado en la incertidumbre asociada a la capacidad de predecir fenómenos termohidráulicos. Todo ello permite trasladar la validación realizada en instalaciones experimentales a situaciones reales. La importancia del efecto de escala queda bien reflejada con la reciente emisión (marzo de 2017) del documento de la NEA «A State-of-the-Art Report on Scaling in System Thermal-Hydraulics Applications to Nuclear Reactor Safety and Design», NEA/CSNI/R(2016)14. Hay varios informes NUREG/IA realizados en CAMP-España que abordan la extensión de problemáticas planteadas en algunas de las series experimentales de PKL y ROSA a plantas nucleares comerciales españolas. Esto se ha hecho en algunos casos mediante la aplicación de ciertas metodologías de escalado. De manera independiente al proyecto, pero gracias a la posibilidad de acceso a los códigos CAMP y a la participación en los programas experimentales, se ha desarrollado en la UPC un trabajo de tesis doctoral, que tuvo como objetivo el desarrollo de una metodología híbrida de escalado, y su validación y verificación frente a un caso realista en una planta española.

Se considera, pues, muy necesario seguir dando pasos en la mejora y aplicación de estas metodologías de escalado y el análisis exhaustivo de experimentos homólogos («counterpart»). Una de las conclusiones recurrentes de los WS conjuntos de actividades analíticas de los proyectos PKL, ROSA y ATLAS ha sido resaltar el interés de los análisis «counterpart» (p.ej. G7 de PKL fase 2 y T3 de ROSA fase 2, y otros más recientes de

PKL fase 4 y ATLAS fase 2) a efectos de profundizar en el uso de técnicas de escalado vinculadas por ejemplo a metodologías BEPU. Se ha participado en algunas experiencias organizadas en estos contextos de la NEA, y ha habido desarrollos y aplicaciones notables promovidos desde la organización de CAMP-España, pero es muy necesario y de interés seguir con las aplicaciones y desarrollos en esta línea. El objetivo debe ser la aplicación de estos «counterpart» y metodologías de escalado hasta la escala y diseño de nuestras plantas.

E. Acoplamiento de Códigos. Una de las características con la que se ha diseñado TRACE es que habilita su conexión con otros códigos y entornos de simulación (neutrónicos, de contención, control y protección, ...). TRACE dispone del componente ECI (External Communication Interface), que facilita el establecimiento de un canal de comunicación, a través de una serie de variables físicas (condiciones frontera) que son salida de uno de los códigos que se comunican y entrada al otro, y viceversa.

Representantes españoles en CAMP han hecho uso de estas prestaciones para distintos propósitos y han tenido un rol bastante relevante en el desarrollo y depuración de ECI. Un ejemplo significativo resultó en la publicación del NUREG/IA-0179, en el que se propone además una Metodología estandarizada de Acoplamiento de Códigos. Este trabajo es además resultado de una colaboración de UPM/CSN con la USNRC, en el que hubo personal de la UPM destacado en una de las universidades colaboradoras de la USNRC, y en el que se habilitó la conexión TRACE-CONTAIN.

Los desarrollos ya obtenidos en el pasado y disponibles en la actualidad (TRACE/PARCS, TRACE/CONTAIN) se deben poner a punto, actualizar y evaluar su capacidad actual. Asimismo, aprovechando esa experiencia se deben poner a punto otros acoplamientos que se consideren más importantes, p. ej. TRACE/FRAPCON o con FRAPTRAN, TRACE/COBRA-TF, con códigos de estructuras.

Por todo ello, se considera necesario seguir explotando esta capacidad (además solicitada desde la USNRC; ver punto anterior B), e incrementando la experiencia de uso. Por sus prestaciones y capacidades, la interfaz gráfica de usuario SNAP puede ser la plataforma en la que se realicen los desarrollos y aplicaciones.

F. Validación, Evaluación y Aplicación de PARCS (TRACE-PARCS, RELAP5-PARCS). Recientemente se han realizado desde CAMP-España algunas aplicaciones tendentes a mejorar la modelación y simulación del movimiento de barras de control, y de la interacción TH-neutrónica. Uno de los trabajos (NUREG/IA-402), ha implantado una mejora en el código RELAP5 para facilitar el movimiento de barras de control y de la interacción termohidráulica-neutrónica correspondiente. El objetivo del trabajo fue introducir una mejora en el acoplamiento entre neutrónica 3D y termohidráulica en el sistema RELAP5/PARCS v2.7, mediante la adición de un modelo para el movimiento de las barras de control, con el objetivo de poder analizar dinámicamente accidentes y transitorios asimétricos, como los accidentes de inserción de reactividad (RIA) en un reactor nuclear, reproduciendo todos los sistemas de control de los reactores (NUREG/IA 0255 y el más reciente NUREG/IA 546). La modificación desarrollada en este trabajo permite el movimiento automático de las barras de control, mediante bloques de control de RELAP5, y en función de las variables relacionadas con el balance de reactividad (p.ej. temperatura de combustible, temperatura del moderador, presión, etc.). Con ello se mejora el realismo del cálculo y las capacidades de simulación. El trabajo fue realizado por el grupo ISIRYM en la UPV, en colaboración con CNAT. La experiencia puede servir de base para su aplicación a TRACE.

Por otra parte, no ha habido un número relevante y notorio de actividades, de aplicación o de validación de la interacción TH-neutrónica (i.e., con TRACE-PARCS). La propia USNRC ha sugerido también a los participantes en CAMP la posibilidad de realización de contribuciones técnicas en este tema, a ser posible con datos neutrónicos realistas. Por todo ello se considera relevante avanzar en el conocimiento y experiencia de este ámbito de aplicaciones.

G. Análisis de piscinas de combustible. Es este un ámbito de aplicación de los códigos de sistema no explorado desde CAMP-España, y que por su actualidad debe ser

considerado como un candidato para su estudio. Ha habido en el pasado algún ejercicio piloto desarrollado en la UPV, pero se perciben ámbitos de ampliación. Recientemente se ha publicado como contribución en especie a CAMP de Taiwán el NUREG/IA-0482, en el que se plantea una metodología de análisis de seguridad de piscinas de combustible gastado de alcance amplio que hace uso de un código de sistema (TRACE), uno de accidente severo (MELCOR), de CFD y uno termomecánico (FRAPTRAN). Se trata de un buen referente para una posible aplicación al caso de alguna central española.

H. Análisis de contenedores. Éste es otro ámbito de aplicación de los códigos de sistema no explorado desde CAMP-España, pero que tienen una relevancia y actualidad notable. Es además un ámbito donde la colaboración entre investigadores y explotadores de centrales resulta necesaria. Se considera muy necesario iniciar actividades en esta línea.

I. Comparación de modelos y capacidades de TRACE y RELAP5, incluyendo comparación de resultados. Dado el actual grado de desarrollo de TRACE y el proceso de suspensión del desarrollo y mantenimiento de RELAP5 realizado por la NRC desde primeros de 2018, se hace necesario una comparativa entre ambos códigos, lo más exhaustiva posible, a efectos de determinar Potencialidades y Carencias de TRACE con respecto a RELAP5. El grupo de carencias puede servir para lanzar solicitudes de desarrollo en RELAP5 que se consideran prioritarias antes de su clausura en 2018. Como hay mucha literatura escrita a este respecto de comparación, se podría arrancar este estudio con una revisión bibliográfica.

Este estudio comparativo incluiría:

- a. Tarea de análisis comparado TRACE/RELAP sobre fenomenología básica, modelos/correlaciones/aplicaciones a problemas simples.
- b. Tarea de análisis comparativo TRACE/RELAP de simulación de componentes importantes de las plantas y/o nodalizaciones sugeridas.
- c. Seguimiento de versiones de TRACE/PARCS/SNAP a partir de un punto de corte acordado (p. ej. TRACE 5.0).

J. Comparación de modelos y capacidades de TRACE y TRAC/BF1, incluyendo comparación de resultados. Dado el actual grado de desarrollo de TRACE se hace necesario una comparativa entre ambos códigos, lo más exhaustiva posible, a efectos de determinar potencialidades y carencias de TRACE con respecto a TRAC/BF1. Como hay mucha literatura escrita a este respecto de comparación, se podría arrancar este estudio con una revisión bibliográfica.

Este estudio comparativo incluiría:

- a. Tarea de análisis comparado TRACE-TRAC/BF1 sobre fenomenología básica, modelos/correlaciones/aplicaciones a problemas simples.
- b. Tarea de análisis comparativo TRACE/TRACBF1 de simulación de componentes importantes de las plantas y/o nodalizaciones sugeridas.
- c. Análisis de inestabilidades en BWR con TRACE 5.0. Comparación con análisis previos realizados con TRAC/BF1.

K. Desarrollo de guías y/o buenas prácticas de modelación aplicables a ciertas familias de escenarios y/o transitorios. Aunque la documentación de los códigos en sus aspectos teórico, de manual de usuario y de desarrollador, están en la actualidad muy maduras (documentación de los códigos editada por los desarrolladores), no lo está tanto la documentación relativa a las buenas prácticas de modelación y guías para la simulación de transitorios. La experiencia adquirida por los usuarios españoles de los códigos CAMP permite intentar abordar esta tarea de documentación. Se debe intentar acordar con los desarrolladores de la USNRC los ámbitos y la prioridad con la que se acometería esta tarea.

L. Actividades en SNAP. Es otro ingrediente de los trabajos anteriores donde se ha adquirido gran experiencia de uso, pero que no ha quedado suficientemente plasmada o explicitada en los documentos NUREG/IA presentados desde CAMP-España. Se entiende que se puede aportar esta experiencia como contribución en especie a CAMP, a través de material didáctico y de entrenamiento (del que SNAP no dispone en la actualidad), o de documentación de aplicaciones concretas (p.ej. simulación interactiva, o edición de máscaras,...), o de desarrollo de plugins de aplicaciones particulares que se consideren relevantes. Es éste un ámbito de aplicaciones muy abierto a la iniciativa de los investigadores.

M. Análisis de seguridad para reactores SMR. En los últimos años, el interés sobre los reactores SMR de agua ligera ha crecido considerablemente y varios países apuestan por la construcción de este tipo de reactores. En los Estados Unidos, el diseño del reactor NuScale ya ha sido certificado por la NRC y hay un número importante de proyectos en diferentes países. En esta línea, se pretende estudiar la respuesta de este tipo de reactores a situaciones accidentales como LOCAs intermedios y SBO.

9. *Proyecto coordinado de «Participación en los proyectos de mantenimiento de códigos de NRC (CAMP) y programas experimentales de NEA/OECD (SYSTHER, ATLAS, RBHT y POLCA), y su aplicación a plantas españolas (CAMP-ESPAÑA)»*

En definitiva, con todos los antecedentes descritos, se formaliza este convenio de colaboración con las Universidades Politécnicas de Madrid, Catalunya y València, con el objetivo fundamental de llevar a cabo el desarrollo de actividades nacionales en los citados proyectos internacionales CAMP de la USNRC, y SYSTHER, ATLAS, RBHT y POLCA de NEA/OECD, y su aplicación a las centrales nucleares españolas.

Los equipos participantes en esta propuesta son entidades con estructura y capacidad de gestión para la realización de las actividades y tareas previstas, con los objetivos que se detallan en los puntos siguientes. Han trabajado en diversos proyectos comunes, ICAP, CTC, SETH y CAMP, y el más reciente «Participación en los Proyectos de Mantenimiento de Códigos de NRC (CAMP) y Programas Experimentales Termohidráulicos de NEA/OECD (PKL, ATLAS Y RBHT), y su Aplicación a Plantas españolas (CAMP-España)».

El proyecto estará estructurado en 5 sub-proyectos acometidos por otros tantos grupos universitarios:

- Subproyecto 1, UPV-AE: Universitat Politècnica de València, grupo dirigido por el profesor Alberto Escrivá Castells.
- Subproyecto 2, UPV-GV: Universitat Politècnica de València, grupo dirigido por el profesor Gumersindo Verdú Martín.
- Subproyecto 3, UPV-SM: Universitat Politècnica de València, grupo dirigido por el profesor Sebastián Martorell Alsina.
- Subproyecto 4, UPC: Universitat Politècnica de Catalunya, grupo dirigido por el profesor Jordi Freixa Terradas.
- Subproyecto 5, UPM: Universidad Politécnica de Madrid, grupo dirigido por el profesor Kevin Fernandez Cossials.

9.1 Objetivos principales.

Los objetivos generales ligados a los de los programas internacionales son:

1. Colaboración en la participación nacional en los proyectos SYSTHER, ATLAS, RBHT y POLCA de la NEA/OECD, y CAMP de la NRC.
2. Investigación de aspectos específicos de seguridad relativos a los accidentes simulados en dichos programas experimentales de NEA/OECD.
3. Con posterioridad a la ejecución de los mencionados proyectos y a partir de sus conclusiones, realización del análisis de la aplicabilidad y/o extensión de los resultados y

conocimientos adquiridos en estos proyectos a la seguridad, operación o disponibilidad de las centrales nucleares españolas.

4. En cuanto al Proyecto CAMP, los principales objetivos son los propios del acuerdo del CSN con la USNRC, aplicables a cada uno de los códigos de cálculo ofrecidos por la USNRC incluidos en el proyecto. Son los siguientes:

- Permitir un sólido intercambio con la comunidad de usuarios internacional.
- Compartir experiencias respecto a errores e insuficiencias en los códigos y cooperar a su resolución y al mantenimiento de una versión única, reconocida internacionalmente, de cada uno de ellos.
- Compartir experiencias en cuanto a escalabilidad, aplicabilidad y estudios de incertidumbre.
- Compartir una base de datos bien documentada para la evaluación.
- Compartir experiencias en cuanto a análisis de seguridad en plantas incluyendo plantas en operación y reactores avanzados de agua ligera, en los ámbitos de transitorios, secuencias dominantes en cuanto a riesgo, secuencias completas de accidente severo, gestión de accidentes y estudios relativos a procedimientos de operación.
- Mantener y mejorar la documentación sobre orientaciones de usuario y aplicabilidad de códigos y modelos.
- Disponer de las versiones más actuales de los códigos RELAP5 y TRACE.

Como objetivos propios del proyecto nacional que se propone, cabría decir:

5. Comunicación y aprovechamiento de la información obtenida de estos proyectos por los grupos nacionales expertos en TH.

6. Establecimiento y ejecución de un plan conjunto que optimice los recursos españoles para conseguir el mantenimiento y mejora de las capacidades de análisis de accidentes ya existentes.

7. Realización de cálculos pre-test y post-test de validación en aspectos fenomenológicos no suficientemente contrastados de las versiones actuales de los códigos disponibles en la comunidad termohidráulica española (fundamentalmente los códigos CAMP TRACE y RELAP5).

8. Aplicación a un caso de planta de cada una de las configuraciones experimentales consideradas en los programas de experimentación termohidráulica de NEA/OECD, y análisis del impacto en la seguridad, operación o disponibilidad de la planta. También se harán con RELAP5 y TRACE; el comité de dirección evaluará la posibilidad de realizar análisis de detalle con otros códigos en función de los resultados obtenidos y necesidades de capacidades de simulación que se susciten.

9. Mantenimiento de la capacidad y grupos de expertos nacionales para el análisis de accidentes en su vertiente termohidráulica de las centrales nucleares españolas, accediendo a resultados de programas experimentales, y de resultados de los códigos actualmente en uso.

10. Realización de contribuciones en especie comprometidas en el programa CAMP.

9.2 Descripción de las actividades del proyecto.

En este apartado se describen las actividades y plan de trabajo previsto inicialmente para cada subproyecto. No obstante, en función de la evolución del propio proyecto y de posibles condicionantes y de la evolución de los proyectos internacionales asociados, el comité de dirección del proyecto podrá reorientar las referidas líneas de actividades.

Para cada análisis de los experimentos, se prevé desarrollar las siguientes tareas:

- [1] Conocimiento de la instalación. Preparación y ajuste de su modelo básico.
- [2] Apoyo a las decisiones relativas a la matriz de experimentos y realización de cálculos pre-test. Éstos se harán con los códigos TRACE (preferiblemente) y/o RELAP5.

[3] Seguimiento del experimento, asimilación de datos y realización del cálculo post-test. Estos cálculos se harán con los códigos TRACE (preferiblemente) y/o RELAP5. En esta actividad cabe también la comparación de resultados de ambos.

[4] Estudio de escenarios equivalentes en una instalación comercial. Éstos se harán con los códigos TRACE (preferiblemente) y/o RELAP5.

[5] Elaboración del informe técnico de cierre.

[6] Elaboración del informe de contribución en especie a CAMP con calidad NUREG/IA.

Las actividades encomendadas a cada grupo de trabajo serán las siguientes:

1) Subproyecto 1, UPV-AE.

– Participación en la fase D2 del proyecto ATLAS enfocada al análisis de sistemas de seguridad pasivos.

– Participación mediante la simulación de experimentos en las actividades del proyecto RBHT.

– Participación en el programa SYSTHER, en la fase K1 y en el estudio de escenarios SB-LOCA.

2) Subproyecto 2, UPV-GV.

– Actividades NEA/OECD. ATLAS 3: Experimentos de la serie C1 (Experimentos de descarga en contención) y la serie C2 (Análisis de Sistemas de Seguridad Pasivos).

– Actividades generales: Participación en el proyecto RBHT, Análisis de transitorios con códigos acoplados RELAP5p5/PARCS y TRACEv5/PARCS.

3) Subproyecto 3, UPV-SM.

– Dentro del programa ATLAS-4, se realizará el análisis del experimento C3 enfocado al análisis de circulación natural asimétrica.

– Participación en el proyecto POLCA. En particular, comparación de los resultados experimentales en la instalación MIDI con resultados de simulaciones mediante TRACE.

4) Subproyecto 4, UPC.

– Participación en el proyecto RBHT con la simulación de toda la serie experimental, tanto los casos abiertos como los ciegos.

– Participación en el proyecto ISP-52 con la simulación de la secuencia de rotura múltiple de tubos en los generadores de vapor en la instalación experimental PKL.

– Participación en el proyecto SYSTHER con la simulación de experimentos en la instalación PKL y también la confección de un nuevo modelo para la simulación de la instalación MOTEL.

5) Subproyecto 5, UPM. Grupo de la UPM dirigido por el profesor Kevin Fernández-Cosials.

– Dentro del programa ATLAS-4 se realizará el análisis de la secuencia D2 enfocado al análisis de Sistemas de Seguridad Pasivos. En concreto se estudiará el comportamiento del SBLOCA con la actuación de SBLOCA con PECCS (sistema pasivo de ECCS) y con PAFS (condensador de aislamiento pasivo).

– Análisis de estabilidad y caracterización del Generador de Vapor en la instalación MOTEL dentro del proyecto SYSTHER. En concreto, la frontera entre estabilidad e inestabilidad.

– Aplicación a planta *full-scale* de los análisis de estabilidad de Generador de Vapor Pasivo y comprobación de esta estabilidad. Estudio del impacto de las incertidumbres del diseño en la estabilidad.

9.3 Equipo de trabajo del CSN.

Para las tareas de colaboración, supervisión y coordinación técnica de este proyecto de I+D el CSN cuenta con expertos conocedores de las aplicaciones de esta línea de investigación de I+D a la función reguladora:

- Miguel Sánchez Perea (MSP), Jefe de Área de Modelación y Simulación (MOSI) de la Subdirección de Tecnología Nuclear (STN),
- Rafael Mendizábal Sanz (RMS), Consejero Técnico del Área de Ingeniería del Combustible Nuclear (ICON) de la Subdirección de Ingeniería Nuclear (SIN),

En principio, los recursos para esta coordinación se han estimado en:

- 100 horas/año de dedicación en el caso de MSP, y
- 50 horas/año de dedicación en el caso de RMS,

tratándose de horas de producción científica, por lo que se cuantifican como aportación del personal del CSN al convenio en la Memoria Económica.

9.4 Organización del proyecto.

El proyecto se ejecutará de manera coordinada entre los 5 grupos universitarios descritos anteriormente y el CSN, para cubrir los objetivos generales y específicos. El grupo UPV-AE actuará como coordinador principal.

Otros mecanismos de coordinación previstos para la eficaz ejecución del proyecto son, como en otras ocasiones:

1) Un comité de dirección que estará formado por dos representantes del CSN, y uno de cada grupo participante. Dicho Comité de Dirección tendrá las siguientes funciones:

- a. Aprobará el plan de trabajo de detalle elaborado por el Coordinador de Proyecto (UPV-AE).
- b. Propondrá y aprobará las posibles modificaciones de las tareas de los grupos. Estas modificaciones podrán venir determinadas a su vez por modificaciones en el plan de trabajo de los proyectos internacionales.
- c. Aprobará los informes de cada una de las actividades realizadas, previa a la asignación económica correspondiente.
- d. Aprobará el informe final del proyecto, propuesto por el Coordinador del Proyecto.

2) Una estrecha colaboración de los especialistas del Consejo de Seguridad Nuclear con los grupos participantes, así como con los *Operating Agents* de los proyectos de NEA/OCDE.

3) La realización de las jornadas técnicas del proyecto nacional, al menos una al año. Así mismo, se prevé la asistencia a las jornadas internacionales del proyecto CAMP y a los workshops de actividades analíticas de los programas experimentales de NEA/OCDE.

4) Reconducir el plan de trabajo del proyecto en función de la evolución y prioridades que se puedan establecer en los proyectos internacionales asociados. En caso de que el CSN y el Comité de Coordinación de CAMP-España lo consideren conveniente, se podrían ampliar o modificar ligeramente el alcance técnico de la propuesta para incluir actividades, bien en las nuevas fases previstas en los programas experimentales de NEA/OCDE, bien en otras series experimentales en los mismos, bien otros estudios y análisis genéricos de interés.

9.5 Resultados esperados y beneficios para CSN, UPV, UPC y UPM.

De manera general el proyecto facilita una mejor comprensión de los procesos termohidráulicos complejos que intervienen en distintos escenarios de accidente y temáticas de interés en la actualidad (extensión del diseño, LOCA de transición), así como al planteamiento y evaluación de las correspondientes medidas mitigadoras, y contribuye a la validación y el desarrollo de los códigos de simulación termohidráulica.

De manera más pormenorizada, como resultado de la ejecución del proyecto de viabilidad se obtendrían los siguientes productos y beneficios para el CSN y universidades participantes:

1. Conocimiento detallado de los resultados de los programas experimentales en las instalaciones de los programas de NEA/OCDE. Los experimentos pretenden aportar nuevos conocimientos en los temas que más preocupan en la actualidad, tales como extensión del diseño, LOCA de transición, accidentes en parada, fenómenos físicos de reflujo de condensado, restablecimiento de la circulación natural ante diversos supuestos, transferencia de calor en presencia de incondensables, estudio de transferencia de calor con generadores de vapor secos, transitorios de enfriamiento rápido, etc. El CSN tienen vocación de que este conocimiento sea transferido y asimilado por las organizaciones españolas.

2. Conocimiento detallado de los resultados analíticos de simulación de los experimentos y de los fenómenos asociados. Esto es, los resultados de los actividades de simulación vinculados, tanto en lo que ha supuesto de experiencia obtenida por los participantes españoles por medio de la comparación de la simulación de esta fenomenología con los códigos termohidráulicos (RELAP y TRACE) con los resultados experimentales de SYSTHER, ATLAS, RBHT y POLCA, como la participación en las discusiones y seminarios internacionales, sin olvidar la aportación específica de aplicaciones a modelos de centrales nucleares españolas.

3. Conocimiento de las implicaciones de los escenarios objeto de los experimentos en la evaluación de la seguridad y/o en la fiabilidad de la operación de las centrales nucleares españolas. Ello obliga, entre otras cosas, a:

a. Revisar la documentación y bibliografía soporte existente sobre posibles escenarios equivalentes relevantes para las centrales nucleares españolas.

b. Simular los escenarios identificados para alguna central nuclear española representativa.

4. Mejora en las capacidades, experiencia de uso y resultados de los modelos de simulación de las centrales nucleares españolas, mediante la simulación de situaciones análogas en las que aparezcan total o parcialmente los fenómenos observados en cada experimento realizado en los programas de NEA/OCDE. Se plantea el uso prioritario de los modelos de planta para TRACE puestos a punto en proyectos anteriores.

5. Mejora en la capacidad de utilización de los códigos de cálculo en su capacidad predictiva (pre-test, análisis ciegos) y de análisis (post-test, benchmark).

6. Documentación adecuada mediante informes técnicos de los resultados experimentales y de los cálculos de simulación efectuados. Todo ello se plasmará, para cada uno de los experimentos planteados, en informes técnicos de descripción de los experimentos, y de numerosos análisis pre-test y post-test. Se plantea el uso prioritario de los modelos de planta para TRACE puestos a punto en proyectos anteriores.

7. Realización de contribuciones en especie comprometidas en el programa CAMP. Todas las tareas analíticas realizadas con los propósitos anteriores se han ejecutado y documentado con el nivel de detalle y calidad requerido por la USNRC en el NUREG-1271 para su presentación como compromiso en especie al CAMP y eventual publicación como informe NUREG/IA.

8. Apoyo y mantenimiento de grupos de expertos nacionales en experimentación termohidráulica y en aplicación y verificación de códigos de simulación termohidráulica.

9. Participación en Workshops de actividades analíticas organizados por los PRG y MB de los proyectos internacionales de NEA/OCDE, así como en las reuniones de especialistas del proyecto CAMP.

Desde el punto de vista de las organizaciones participantes también se valoran los beneficios científico-técnicos esperables del proyecto, incluyendo dos grandes grupos: 1) avance del conocimiento y mejora de herramientas, 2) generación y difusión de resultados.

En cuanto a la componente formativa y de capacitación de personal y su transferencia al Sector, cabe destacar que dentro de cada grupo de trabajo vienen participando no menos de dos ingenieros o licenciados en formación pre-doctoral a lo largo de las pasadas ediciones de CAMP. Fruto de dicha participación han sido numerosas tesis doctorales, y ha habido una transferencia de personal cualificado a instituciones universitarias, organismo regulador y empresas del Sector, tales como ANAV, Westinghouse, Nortuen, Idom, Tecnatom, CNAT y CNC.

En relación con el plan de difusión de resultados del proyecto, se prevé asistir varias veces durante la vigencia del proyecto a:

- Congresos de carácter internacional.
- Las reuniones anuales de la Sociedad Nuclear Española.
- Las jornadas internacionales del proyecto CAMP.
- *Workshop* de actividades analíticas de los programas experimentales.

En este sentido, cabe destacar las contribuciones a revistas y congresos nacionales e internacionales, fruto de las actividades desarrolladas en el proyecto coordinado precedente CAMP (ver sección 11 de referencias).

Finalmente, conviene destacar que todas las tareas analíticas realizadas en el proyecto se ejecutarán y documentarán con el nivel de detalle y calidad requerido por la USNRC (NUREG-1271) para su presentación como compromiso en especie al CAMP y eventual publicación como informe NUREG/IA, tal como los que se vienen produciendo.

10. Referencias

[1] Informe Final del Proyecto «Participación en los proyectos CAMP de USNRC, y PKL3 y ATLAS de NEA/OECD, y su aplicación a plantas españolas (CAMP-ESPAÑA).

[2] NUREG/IA-0530, C. Berna, A. Escrivá, J.L. Muñoz-Cobo, «OCDE/CSNI Analysis with TRACE code of PKL III Test G1.1. & G1.1a Parameter Study on Heat Transfer Mechanisms in the SG in Presence of Nitrogen, Steam and Water as a Function of the Primary Coolant Inventory (Single Loop Operation)».

[3] NUREG/IA-0521, A. Julbe, C. Berna, A. Escrivá, J.L. Muñoz-Cobo, «OCDE/CSNI Analysis with TRACE code of PKL III Test G1.2. Parameter Study on Heat Transfer Mechanisms in the SG in Presence of Nitrogen, Steam and Water as a Function of the Primary Coolant Inventory (two Loop Operation)», Report NUREG/IA under NRC review process.

[4] NUREG/IA-0537, C. Berna, A. Escrivá, J.L. Muñoz-Cobo, «Aplicación a planta del estudio de la extracción de calor residual en presencia de gases no-condensables modelado con TRACE: Experimentos PKL III G1.1 y G1.2».

[5] NUREG/IA-0538, R. Martí, O. Parera; «Natural Circulation Assessment of a PWR Loss of Off-site Power with RELAP5/3.2».

[6] NUREG/IA-0540, M. Lorduy, S. Gallardo, G. Verdú; «Assessment of TRACE5.0 Code Against ATLAS Test A5.2. Counterpart Test to LSTF».

[7] NUREG/IA-0545, D. Blanco, C. Berna, L. Álvarez, J.L. Muñoz-Cobo, A. Escrivá; «Post-Test Analysis of PKL III Test H2.2 Run 2 (SBO) with TRACE».

[8] NUREG/IA-0546, M. Garcia-Fenoll, A. Ortego, J. A. Bermejo, A. Lopez, C. Mesado, T. Barrachina, R. Miró, B. Navarro, G. Verdú, A. Concejal; «Assessment of a

PWR Control Rod Drop Transient with 3D Neutronic-Thermalhydraulic Coupled Codes RELAP5/ PARCSv2.7 and TRACEv5.0P3/PARCSv3.0».

[9] NUREG/IA-0550, J. Freixa, V. Martínez-Quiroga, K. Martin-Gil and F. Reventós; «Modelling guidelines for CCFL representation during IBLOCA scenarios of PWR reactors».

[10] NUREG/IA-0244, S. Gallardo, V. Abella, G. Verdú; «Assessment of TRACE 5.0 against ROSA test 6-2, Vessel Lower Plenum SBLOCA»; 2011.

[11] NUREG/IA-0245, S. Gallardo, V. Abella, G. Verdú; «Assessment of TRACE 5.0 against ROSA test 6-1, Vessel Upper Head SBLOCA»; 2011.

[12] NUREG/IA-0412, S. Gallardo, V. Abella, G. Verdú, A. Querol; «Assessment of TRACE 5.0 against ROSA test 3-2, High Power Natural Circulation»; 2013.

[13] NUREG/IA-0413, S. Gallardo, V. Abella, G. Verdú, A. Querol; «Assessment of TRACE 5.0 against ROSA test 3-1, Cold Leg SBLOCA»; 2013.

[14] NUREG/IA-0420, J.L. Muñoz-Cobo, A. Romero, S. Chiva, «Analysis with TRACE Code of Rosa Test 1.2: Small LOCA in the Hot-Leg with HPI and Accumulator Actuation»; 2013.

[15] NUREG/IA-0419, A. Julbe, J.L. Muñoz-Cobo, A. Escrivá, A. Romero, «Analysis with TRACE Code of ROSA Test 1.1: ECCS Water Injection Under Natural Circulation Condition»; 2012.

[16] NUREG/IA-0422, J.L. Muñoz-Cobo, S. Chiva, A. Escrivá, «Analysis with TRACE Code of PKL-III Test F 1.2»; 2013.

[17] NUREG/IA-0411, S. Carlos, J.F. Villanueva, S. Martorell, V. Serradell; «Simulation of the experimental series F2.2 at PKL facility using RELAP5/Mod3.3»; 2012.

[18] NUREG/IA-0250, S. Carlos, J.F. Villanueva, S. Martorell, V. Serradell; «Simulation of the F2.1 Experiment at PKL Facility using RELAP5/MOD3»; 2011.

[19] NUREG/IA-0256, C. Queral, A. Concejal, A. Expósito, e I. González, «Simulation of PKL loss of RHRS experiment E3.1 with RELAP5 and TRACE codes. Application to a PWR-W plant mode»; 2011.

[20] NUREG/IA-0257, C. Queral, A. Concejal, A. Expósito, «Simulation of PKL loss of RHRS experiment F2.2 with RELAP5 and TRACE codes. Application to a PWR-W plant model»; 2011.

[21] NUREG/IA-0426, C. Queral, J. Gonzalez-Cadelo, G. Jimenez, E. Villalba, J. Perez «Simulation of LSTF Upper Head Break (OECD/NEA ROSA test 6.1) with TRACE code. Application to a PWR NPP model»; 2013.

[22] NUREG/IA-0410, Martínez, V; Reventós, F.; Pretel, C.; «Post-Test Calculation of the ROSA/LSTF Test 3-2 using RELAP5/mod3.3»; 2012.

[23] NUREG/IA-0409, Martínez, V; Reventós, F.; Pretel, C.; «Post-Test Calculation of the ROSA/LSTF Test 3-1 using RELAP5/mod3.3»; 2012.

[24] NUREG/IA-0417, Freixa J., Pretel C., Batet Ll., Reventós F.; «Post-Test Thermal-Hydraulic analysis of Tests F1.1 and F1.2»; 2014.

[25] NUREG/IA-0233, C. Queral, A. Expósito, G. Jiménez, L. Valle and J.C. Martínez-Murillo; «Assessment of TRACE 4.160 and 5.0 against RCP Trip Transient in Almaraz I Nuclear Power Plant»; 2010.

[26] NUREG/IA-0255, J. C. Martínez-Murillo, M. Novo, R. Miró, T. Barrachina, and G. Verdú; «Coupled RELAP/PARCS Full Plant Model – Assessment of a Cooling Transient in Trillo Nuclear Power Plant»; 2011.

[27] NUREG/IA-0240, R. Pericas, L. Batet, and F. Reventós; «Sensitivity Analyses of a Hypothetical 6 Inch Break, LOCA in Ascó NPP using RELAP/MOD3.2»; 2010.

[28] NUREG/IA-0243, O. Lozano, C-P. Chiang, C. Llopis, L. Batet, F. Reventós; «Development of a Vandellòs II NPP Model using the TRACE Code: Application to an Actual Transient of Main Coolant Pumps Trip and Start-up»; 2011.

[29] NUREG/IA-0226, P. Corcuera, E. Rodriguez, G. Villescás; «Assessment of the Turbine Trip Transient in Santa María de Garoña Nuclear Power Plant with TRACE version 4.16»; 2010.

[30] NUREG/IA-0253, Roberto Herrero Santos, José María Izquierdo Rocha; «Development of a Computer Tool for In-Depth Analysis and Post Processing of the RELAP5 Thermal Hydraulic Code», 2011.

[31] NUREG/IA-0503, S. Gallardo, A. Querol, M. Lorduy and G. Verdú; «Post-Test Analysis of ROSA-2 Test 2 (IBLOCA) with TRACE», 2019.

[32] NUREG/IA-0504, S. Gallardo, A. Querol, M. Lorduy and G. Verdú; «Assessment of TRACE 5.0 Against ROSA-2 Test 3 Counterpart Test to PKL», 2019.

[33] NUREG/IA-0505, S. Gallardo, A. Querol, M. Lorduy and G. Verdú; «Assessment of TRACE 5.0 Against ROSA-2 Test 5, Main Steam Line Break with Steam Generator Tube Rupture», 2019.

[34] NUREG/IA-0511, S. Gallardo, A. Querol, M. Lorduy and G. Verdú; «Simulation of ROSA-2 Test-2 Experiment: Application to Nuclear Power Plant», 2019.

[35] NUREG/IA-0512, S. Gallardo, A. Querol, M. Lorduy and G. Verdú; «Simulation of ROSA-2 Test 3 Counterpart with TRACE5 - Application to Nuclear Power Plant», 2019.

[36] NUREG/IA-0504, F. Sánchez, S. Carlos, J.F. Villanueva, S. Martorell; «Assessment of TRACE 5.0 Against ROSA-2 Test 3 Counterpart Test to PKL», 2019.

[37] NUREG/IA-0488, S. Carlos, J.F. Villanueva, F. Sánchez, S. Martorell; «Simulation of the LSTF-PKL Counterpart G7.1 test at PKL facility to a Nuclear Power Plant using TRACE 5», 2019.

[38] NUREG/IA-0486, S. Carlos, J.F. Villanueva, F. Sánchez, S. Martorell; «Simulation of the G3.1 experiment at PKL facility using RELAP5/Mod3.3», 2018.

[39] NUREG/IA-0487, F. Sánchez, S. Carlos, J.F. Villanueva, S. Martorell; «Simulation of the PKL-G7.1 Experiment in a Westinghouse Nuclear Power Plant Using RELAP5/Mod3.3», 2019.

[40] NUREG/IA-0488, F. Sánchez, S. Carlos, J. F. Villanueva, and S. Martorell; «Simulation of the LSTF-PKL Counterpart G7.1 test at PKL facility using TRACE 5», 2019.

[41] NUREG/IA-0409, Martínez, V.; Reventós, F.; «Post-Test Calculation of the ROSA/LSTF Test 3 using RELAP5/mod3.3»; 2012.

[42] NUREG/IA-0497, Pérez, M.; Martínez, V.; Reventós, F.; «IBLOCA analysis for Vandellòs-II NPP. Sensitivity calculations to EOP actions», 2019.

[43] NUREG/IA-0498, Freixa, J.; Martínez, V.; Reventós, F.; «Core Exit Temperature Response during an SBLOCA Event in the Ascó NPP», 2018.

[44] NUREG/CR-6976, 2010, E.R. Rosal, T.F. Lin, I.S. McClellan, R.C. Brewer, Rod Bundle «Heat Transfer (RBHT) Facility Description Report», 2010.

[45] NEA No. 7317, State-of-the-Art Report on Light Water Reactor Accident-Tolerant Fuels, Nuclear Science, OECD 2018.

[46] Maolong Liu.; Nicholas R. Brown.; Kurt A. Terrani.; Amir F. Ali.; Edward D. Blandford.; Daniel M. Wachs.; «Potential impact of accident tolerant fuel cladding critical heat flux characteristics on the high temperature phase of reactivity initiated accidents», Annals of Nuclear Energy, 2017.

[47] L-Y. Cheng.; A. Cuadra.; N. Brown.; «PWR Plant Model to Assess Performance of Accident Tolerant Fuel in Anticipated Transients and Accidents», BNL-107113-2015-CP, 2014.

[48] Bowen Qiu.; Yingwei Wu.; Yangbin Deng.; Yanan He.; Tong Liu.; G.H. Su.; Wenxi Tian.; «A comparative study on preliminary performance evaluation of ATFs under normal and accident conditions with FRAP-ATF code», Progress in Nuclear Energy, 2017.

[49] Sánchez M., Status Report of CAMP Activities in Spain, Fall 2023 CAMP meeting; Rockville (USA) November 14-16, 2023.

ANEXO 2

Memoria económica

1. Instalaciones y equipamiento para la realización del proyecto

A continuación se describen las instalaciones y equipos de cada grupo participante en el proyecto. Todos los grupos investigadores cuentan con los medios necesarios para la realización de las actividades incluidas en el convenio. El uso de todos los equipos e instalaciones indicados será sufragado con los gastos generales del convenio que se indican en esta Memoria Económica.

1.1 Grupo del Departamento de Energía y Combustibles de la UPM (KFC).

El área de Seguridad Nuclear del Departamento de Energía y Combustibles de la Universidad Politécnica de Madrid cuenta con:

En la parte de software:

- Licencias de TRACE5 patch5.

En lo correspondiente al hardware:

- Dos servidores de cálculo de 32 cores a 2.1 GHz y 40 cores a 2.4 GHz respectivamente y 64 GB de RAM.

1.2 Grupo MEDASEGI del Departamento Ingeniería Química y Nuclear UPV (SM).

El grupo MEDASEGI del Departamento de Ingeniería Química y Nuclear de la Universitat Politècnica de València cuenta con:

En la parte de software:

- Licencias de TRACE5 patch5.

En lo correspondiente al hardware:

- CPU: Intel Xeon E5 -2660v3 2.60GHz (2 CPU (25 MB cache) – 20 cores – 40 Threads). 64 GB (DDR4 2133MHz) (Max. RAM 768 GB).
- CPU: Intel Xeon Gold 6148 2.40GHz – Max. Turbo freq. 3.70GHz (2 CPU (27.5 MB caché) – 40 cores – 80 Threads). RAM: 192 GB (DDR4 2133MHz).
- CPU: AMD EPYC 7702P 2.0GHz (1 CPU (256 MB caché) – 64 cores – 128 Threads). RAM: 128 GB (DDR4 2133MHz).

1.3 Grupo SENUMIO del Instituto Universitario de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental de la UPV (GV).

El grupo SENUMIO del Instituto Universitario de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental de la Universitat Politècnica de València cuenta con:

En la parte de software:

- Licencias de TRACE5 patch5.

En lo correspondiente al hardware:

- High performance Cluster Quasar (182 cores) del ISIRYM: 6 nodos AMD (5x32 y 1x24 cores) con 5 con 128GB de RAM, 1 con 512GB de RAM. 33 TB de almacenamiento.

1.4 Grupo TIN del Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería Energética de la UPV (AE).

El grupo TIN del Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería Energética de la Universitat Politècnica de València cuenta con:

En la parte de software:

- Licencia de TRACE5 patch8.
- Licencia de ANSYS CFX.

En lo correspondiente al hardware:

- Workstation: Intel® Xeon® Gold 6130 CPU @ 2.10GHz, 2095 MHz, 16 procesadores; 64 GB Memoria RAM; 8 TB Memoria HDD.
- Workstation: Intel® Xeon® E5645 CPU @ 2.40GHz, 12 procesadores; 48 GB Memoria RAM; 4 TB Memoria HDD.
- 3 Workstation: Intel® Core® i9 12900K CPU @ 3.20GHz, 16 núcleos físicos, 21 hilos (turbo 5.2GHz), 64 GB Memoria RAM, 14 TB Memoria HDD.

1.5 Grupo «Advanced Nuclear Technologies» (ANT) del Departamento de Física de la Universitat Politècnica de Catalunya (JF).

El grupo ANT del Departamento de Física de la Universitat Politècnica de Catalunya cuenta con:

En la parte de software:

- Licencias de TRACE5 patch7.
- RELAP5 patch5.

En lo correspondiente al hardware:

- 3 workstations: Processor 13th Gen Intel(R) Core(TM) i9-13900K, 3000 Mhz, 24 Core(s), 32 Logical Processor(s), 64GB RAM.
- 4 workstations: Intel Core i7-8700 (6 cores) CPU@3.200GHz, 32GB RAM.

2. Presupuesto

El coste total del convenio se ha calculado sobre la base de los costes que se detallan a continuación.

2.1 Costes de personal.

Se ha considerado una necesidad de recursos humanos por cada grupo de 1 persona/año contratada, junto con una persona que se encargue de la dirección del proyecto y otras personas dando apoyo técnico, así como un alcance temporal de cuatro años.

Los costes de personal de los encargados de la dirección del proyecto y de las personas dando apoyo técnico son aportados por cada universidad.

Las personas contratadas involucradas en el proyecto tendrán un contrato como personal investigador a tiempo completo durante los cuatro años aproximadamente que dure el proyecto.

El coste previsto del personal a contratar para los 4 años de duración del proyecto asciende a 112.000,00 euros para cada universidad participante, según se indica a continuación:

$$1 \text{ titulado superior} \times 4 \text{ años} \times 28.000,00 \text{ €/año} = 112.000,00 \text{ euros}$$

Aportación del CSN: La cantidad correspondiente a las contrataciones de personal será aportada por el CSN. Además, el CSN contribuirá de forma no dineraria con la aportación de dos técnicos expertos.

Aportación de cada Universidad:

Además del personal que es contratado con cargo a los fondos aportados por el CSN, se cuenta con el personal del equipo del proyecto a tiempo parcial. El coste por hora de este personal del equipo investigador del proyecto, perteneciente a la plantilla de cada universidad, es variable, dependiendo del salario que tiene cada uno de ellos.

Las horas de dedicación aportadas al proyecto por el personal de plantilla de cada universidad son exclusivas y no compartidas con otros proyectos de investigación.

El coste horario y las horas de dedicación al proyecto aportadas por las entidades investigadoras se consideran de carácter estimatorio, pudiéndose variar sus cuantías durante la ejecución de las anualidades del convenio, siempre y cuando estas variaciones no supongan un incremento del coste total imputable previsto (coste de personal, de viajes y dietas, además de costes indirectos), ni se altere el objetivo del proyecto.

2.2 Costes de material.

Los costes de material asociados a los recursos informáticos, de espacio físico y gastos corrientes son calculados por cada grupo a través del cobro de un canon en un porcentaje sobre el proyecto, o a través del cálculo de costes indirectos que corresponden a un porcentaje de los costes directos. Esta cantidad será aportada con los fondos del CSN.

2.3 Costes de viajes y dietas.

Se consideran los siguientes viajes:

- a) Viajes del coordinador y/o miembros del equipo para asistir a las reuniones del proyecto CAMP y/o de los proyectos de NEA: se estiman dos reuniones por año.
- b) Viajes e inscripciones a congresos: habrá participación en, al menos, un congreso internacional al año.
- c) Actividades de divulgación/difusión de resultados.
- d) Viajes a cursos y su asistencia o inscripción.

Estas cantidades serán con cargo a los fondos aportados por el CSN.

Durante la ejecución del convenio podrá haber variaciones entre los importes de las partidas de personal, de viajes y dietas y de costes indirectos presupuestadas, siempre que no suponga un incremento del coste total imputable (coste de personal, de viajes y dietas e indirectos), ni suponga un menoscabo de las horas destinadas a trabajo científico.

2.4 Costes a ejecutar por las universidades participantes.

A continuación, se desglosan los distintos conceptos.

2.4.1 Grupo Departamento de Energía y Combustibles de la UPM (KFC):

En la siguiente tabla se indican los costes de cada una de las partidas económicas, referidas al grupo de la UPM.

Costes de personal y ejecución (Grupo UPM)	Contribución anual UPM – Euros	Contribución anual CSN dineraria – Euros
1. Costes de personal.		
1.1. Personal propio.	31.002,34	
1.2. Personal contratado laboral.		28.000,00
Total costes de personal.	31.002,34	28.000,00
Porcentaje de contribución.	52,54 %	47,46 %
2. Costes de viajes y dietas (Asistencia, inscripción a cursos, reuniones, congresos y actividades de divulgación/difusión de resultados, etc.).		3.790,00
Total costes directos.	31.002,34	31.790,00
3. Costes indirectos y administrativos Canon UPM 15 %.		5.610,00
Total Costes directos + indirectos anuales.	31.002,34	37.400,00
Porcentaje de contribución.	45,32 %	54,68 %
Coste total del proyecto (4 años).	124.009,36	149.600,00

2.4.1.1 Costes de personal.

El coste correspondiente a esta partida, referidas al grupo UPM, asciende a 236.009,36 euros para los 4 años de duración del proyecto.

La cantidad correspondiente a la aportación de la UPM se valora por el cómputo de las horas trabajadas por el coordinador técnico del grupo UPM, junto con los demás miembros del equipo. La UPM aportará por ello 124.009,36 euros.

Por lo que se refiere a la aportación del CSN, esta entidad abonaría el coste de personal contratado laboral que asciende a 112.000,00 euros.

2.4.1.2 Costes asociados a asistencia a cursos, reuniones, congresos y/o actividades de divulgación.

Se estima un coste anual de 3.790,00 euros por asistencia a reuniones de coordinación, por asistencia e inscripción a cursos, reuniones, congresos y/o actividades de divulgación de interés para el CSN. Estos costes serán abonados por el CSN.

2.4.1.3 Costes indirectos y administrativos UPM.

Los costes indirectos relativos a gastos generales imputables al proyecto se estiman en 5.610,00 euros anuales, que corresponden al 15 % sobre el total de la aportación monetaria anual del CSN (37.400,00 = 31.790,00/0,85 euros anuales) para el grupo de la UPM durante los 4 años de duración del proyecto, también a abonar por el CSN.

Por parte de la UPM, se presentará el importe correspondiente incluido en el certificado de gastos sin necesidad de aportar documentación adicional.

Los costes de material asociados a los recursos informáticos, de espacio físico y gastos corrientes son aportados por la UPM a través del cobro del canon del 15 % sobre el proyecto.

2.4.2 Grupo MEDASEGI del Departamento Ingeniería Química y Nuclear UPV (SM):

En la siguiente tabla se indican los costes de cada una de las partidas económicas referidas al grupo MEDASEGI.

Costes de personal y ejecución (Grupo MEDASEGI-UPV)	Contribución anual UPV - Euros	Contribución anual CSN dineraria - Euros
1. Costes de personal.		
1.1 Personal propio.	31.023,48	
1.2 Personal contratado laboral en la línea de investigación de la UPV con título «Seguridad y Vigilancia Radiológica Ambiental».		28.000,00
Total costes de personal.	31.023,48	28.000,00
Porcentaje de contribución.	52,56 %	47,44 %
2. Costes de viajes y dietas (Asistencia, inscripción a cursos, reuniones, congresos y actividades de divulgación/difusión de resultados, etc.).		1.920,00
Total costes directos.	31.023,48	29.920,00
3. Costes indirectos (UPV 25 %).		7.480,00
Total Costes directos + indirectos anuales.	31.023,48	37.400,00
Porcentaje de contribución.	45,34 %	54,66 %
Coste total del proyecto (4 años).	124.093,92	149.600,00

2.4.2.1 Costes de personal.

El coste correspondiente a esta partida, en lo referente al grupo MEDASEGI, asciende a 236.093,92 euros.

La cantidad correspondiente a la aportación de la UPV se valora por el cómputo de las horas trabajadas por el coordinador técnico del grupo MEDASEGI, junto con los demás miembros del equipo. La UPV aportará para ello 124.093,92 euros.

Por lo que se refiere a la aportación del CSN, esta entidad abonaría el coste de personal contratado laboral que asciende a 112.000,00 euros.

2.4.2.2 Costes asociados a asistencia a cursos, reuniones, congresos y/o actividades de divulgación.

Se estima un coste anual de 1.920,00 euros por asistencia a reuniones de coordinación, por asistencia e inscripción a cursos, reuniones, congresos y/o actividades de divulgación de interés para el CSN, etc. Estos costes serán abonados por el CSN.

2.4.2.3 Costes indirectos y administrativos UPV.

Los costes indirectos relativos a gastos generales imputables al proyecto se estiman en 7.480,00 euros anuales, que corresponden al 25 % de la aportación monetaria anual de costes directos que hace el CSN al grupo (29.920,00 euros anuales, correspondientes a 1.920,00 euros de viajes y dietas, sumados a 28.000,00 euros del contrato predoctoral) para el grupo MEDASEGI de la UPV durante los 4 años de duración del proyecto también a abonar por el CSN.

2.4.3 Grupo SENUBIO del Instituto Universitario de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM) UPV (GV):

En la siguiente tabla se indican los costes de cada una de las partidas económicas referidas al grupo SENUBIO.

Costes de personal y ejecución (Grupo SENUBIO-UPV)	Contribución anual UPV – Euros	Contribución anual CSN dineraria – Euros
1. Costes de personal.		
1.1. Personal propio.	31.021,07	
1.2. Personal contratado laboral en la línea de investigación con título «Análisis de experimentos termohidráulicos, incertidumbres y escalado aplicados a plantas nucleares» de la UPV.		28.000,00
Total Personal.	31.021,07	28.000,00
Porcentaje de contribución.	52,56 %	47,44 %
2. Costes de viajes y dietas (Asistencia, inscripción a cursos, reuniones, congresos y actividades de divulgación/difusión de resultados, etc.).		1.920,00
Total Costes directos.	31.021,07	29.920,00
3. Costes indirectos (UPV 25 %).		7.480,00
Total Costes directos + indirectos anuales.	31.021,07	37.400,00
Porcentaje de contribución.	45,34 %	54,66 %
Coste total del proyecto (4 años).	124.084,28	149.600,00

2.4.3.1 Costes de personal.

El coste correspondiente a esta partida, referidas al grupo SENUBIO, asciende a 236.084,28 euros.

La cantidad correspondiente a la aportación de la UPV se valora por el cómputo de las horas trabajadas por el Coordinador Técnico del grupo SENUBIO, junto con los demás miembros del equipo. La UPV aportará por ello 124.084,28 euros.

Por lo que se refiere a la aportación del CSN, esta entidad abonaría el coste de personal contratado laboral lo que asciende a 112.000,00 euros.

2.4.3.2 Costes asociados a asistencia a cursos, reuniones, congresos y/o actividades de divulgación.

Se estima un coste anual de 1.920,00 euros por asistencia a reuniones de coordinación, por asistencia e inscripción a cursos, reuniones, congresos y/o actividades de divulgación de interés para el CSN, etc. Estos costes serán abonados por el CSN.

2.4.3.3 Costes indirectos y administrativos UPV.

Los costes indirectos relativos a gastos generales imputables al proyecto se estiman en 7.480,00 euros anuales, que corresponden al 25 % de la aportación monetaria anual de costes directos que hace el CSN al grupo (29.920,00 euros anuales, correspondientes a 1.920,00 euros de viajes y dietas, sumados a 28.000,00 euros del contrato predoctoral) para el grupo SENUBIO de la UPV durante los 4 años de duración del proyecto también a abonar por el CSN.

2.4.4 Grupo TIN del Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería Energética de la UPV (AE):

En la siguiente tabla se indican los costes de cada una de las partidas económicas referidas al grupo TIN.

Costes de personal y ejecución (Grupo TIN-UPV)	Contribución anual UPV – Euros	Contribución anual CSN dineraria – Euros
1. Costes de personal.		
1.1. Personal propio.	31.003,49	
1.2. Personal contratado laboral en la línea de investigación con título «Termohidráulica y Energía Nuclear» de la UPV.		28.000,00
Total Personal.	31.003,49	28.000,00
Porcentaje de contribución.	52,55 %	47,45 %
2. Costes de viajes y dietas (Asistencia, inscripción a cursos, reuniones, congresos y actividades de divulgación/difusión de resultados, etc.).		1.920,00
Total Costes directos.	31.003,49	29.920,00
3. Costes indirectos (UPV 25 %).		7.480,00
Total Costes directos + indirectos anuales.	31.003,49	37.400,00
Porcentaje de contribución.	45,32 %	54,68 %
Coste total del proyecto (4 años).	124.013,96	149.600,00

2.4.4.1 Costes de personal.

El coste correspondiente a esta partida referida al grupo TIN asciende a 236.013,96 euros.

La cantidad correspondiente a la aportación de la UPV se valora por el cómputo de las horas trabajadas por el coordinador técnico del grupo TIN, junto con los demás miembros del equipo. La UPV aportará por ello 124.013,96 euros.

Por lo que se refiere a la aportación del CSN, esta entidad abonaría el coste de personal contratado laboral. El total de este concepto asciende a 112.000,00 euros.

2.4.4.2 Costes asociados a asistencia a cursos, reuniones, congresos y/o actividades de divulgación.

Se estima un coste anual de 1.920,00 euros por asistencia a reuniones de coordinación, por asistencia e inscripción a cursos, reuniones, congresos y/o actividades de divulgación de interés para el CSN, etc. Estos costes serán abonados por el CSN.

2.4.4.3 Costes indirectos y administrativos UPV.

Los costes indirectos relativos a gastos generales imputables al proyecto se estiman en 7.480,00 euros anuales, que corresponden al 25 % de la aportación monetaria anual de costes directos que hace el CSN al grupo (29.920,00 euros anuales, correspondientes a 1.920,00 euros de viajes y dietas, sumados a 28.000,00 euros del contrato predoctoral) para el grupo TIN de la UPV durante los 4 años de duración del proyecto también a abonar por el CSN.

2.4.5 Grupo «Advanced Nuclear Technologies» de la UPC (JF):

En la siguiente tabla se indican los costes de cada una de las partidas económicas referidas al grupo TIN.

Costes de personal y ejecución (Grupo UPC)	Contribución anual UPC – Euros	Contribución anual CSN dineraria – Euros
1. Costes de personal.		
1.1. Personal propio.	31.000,50	
1.2. Personal contratado laboral.		28.000,00
Total Personal.	31.000,50	28.000,00
Porcentaje de contribución.	52,54 %	47,46 %
2. Costes de viajes y dietas (Asistencia, inscripción a cursos, reuniones, congresos y actividades de divulgación/difusión de resultados, etc.).		1.546,00
Total Costes directos.	31.000,50	29.546,00
3. Costes indirectos UPC 21 %.		7.854,00
Total Costes directos + indirectos anuales.	31.000,50	37.400,00
Porcentaje de contribución.	45,32 %	54,68 %
Coste total del proyecto (4 años).	124.002,00	149.600,00

2.4.5.1 Costes de personal.

El coste correspondiente a esta partida referida al grupo UPC asciende a 236.002,00 euros.

La cantidad correspondiente a la aportación de la UPC se valora por el cómputo de las horas trabajadas por el coordinador técnico del grupo UPC, junto con los demás miembros del equipo. La UPC aportará para ello 124.002,00 euros.

Por lo que se refiere a la aportación del CSN, esta entidad abonaría el coste de personal contratado laboral. El total de este concepto asciende a 112.000,00 euros.

2.4.5.2 Costes asociados a asistencia a cursos, reuniones, congresos y/o actividades de divulgación.

Se estima un coste anual de 1.546,00 euros por asistencia a reuniones de coordinación, por asistencia e inscripción a cursos, reuniones, congresos y/o actividades de divulgación de interés para el CSN. Estos costes serán abonados por el CSN.

2.4.5.3 Costes indirectos y administrativos UPC.

Los costes indirectos relativos a gastos generales imputables al proyecto se estiman en 7.854,00 euros anuales, que corresponden al 21 % sobre el total de la aportación monetaria anual del CSN (37.400,00 = 29.546,00/0,79 euros anuales) para el grupo de la UPC durante los 4 años de duración del proyecto también a abonar por el CSN.

2.4.6 Equipo de trabajo del CSN:

Para las tareas de colaboración, supervisión y coordinación técnica de este proyecto de I+D el CSN designa a dos personas expertas conocedoras de las aplicaciones de esta línea de investigación de I+D a la función reguladora.

En principio, los recursos para esta coordinación se han estimado en un total de 150 horas/años, desglosadas según se indica en la tabla siguiente. Se trata de horas de producción científica, por lo que se cuantifican como aportación no dineraria del personal del CSN al convenio.

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 12 de abril

de 2024, se obtiene un coste anual de 17.761,50 euros como aportación no dineraria. El coste/hora incluye los conceptos que se indican en la tabla adjunta para un técnico de nivel 28.

DT Seguridad Nuclear	Nivel 28
Costes directos. Costes de personal.	51,38
Costes indirectos DTSN.	18,05
Repercusión de costes administrativos.	48,98
Total coste/hora.	118,41

2.5 Resumen de costes anuales del proyecto.

A continuación, se resumen los datos expuestos en los apartados anteriores.

RESUMEN DE COSTES TOTALES ANUALES DEL PROYECTO

Concepto	Coste imputable al proyecto - Euros	Aportación total del CSN - Euros	Aportación de UPC/UPM/UPV - Euros	% de la aportación CSN	% de la aportación UPC/UPM/UPV
Personal.	312.812,38	157.761,50	155.050,88	50,43 %	49,57 %
Viajes y dietas.	11.096,00	11.096,00	0,00	100,00 %	0,00 %
-Canon UPC (21 %). -Canon UPM (15 %). -Costes indirectos. UPV (25 %).	35.904,00	35.904,00	0,00	100,00 %	0,00 %
TOTALES.	359.812,38	204.761,50	155.050,88	56,9 %	43,1 %

RESUMEN DE COSTES TOTALES DEL PROYECTO

Concepto	Coste imputable al proyecto - Euros	Aportación total del CSN - Euros	Aportación de la UPC/ UPM/UPV - Euros	% de la aportación CSN	% de la aportación UPC/UPM/UPV
Personal.	1.251.249,52	631.046,00	620.203,52	50,43 %	49,57 %
Viajes y dietas.	44.384,00	44.384,00	0,00	100,00 %	0,00 %
-Canon UPC (21 %). -Canon UPM (15 %). -Costes indirectos. UPV (25 %).	143.616,00	143.616,00	0,00	100,00 %	0,00 %
TOTALES.	1.439.249,52	819.046,00	620.203,52	56,91 %	43,09 %

Según lo descrito anteriormente se obtiene la siguiente tabla resumen:

	Coste total anual - Euros	Aportación anual de institución investigadora - Euros	Aportación anual dineraria del CSN - Euros	Totales Proyecto (4 años) - Euros
UPM	68.402,34	31.002,34 (45,3 %)	37.400,00 (54,7 %)	273.609,36
UPV	205.248,04	93.048,04 (45,3 %)	112.200,00 (54,7 %)	820.992,16
UPC	68.400,50	31.000,50 (45,3 %)	37.400,00 (54,7 %)	273.602,00

	Coste total anual – Euros	Aportación anual de institución investigadora – Euros	Aportación anual dineraria del CSN – Euros	Totales Proyecto (4 años) – Euros
CSN (horas)	17.761,50	-----	-----	71.046,00
TOTALES	359.812,38	155.050,88	187.000,00	1.439.249,52

Por tanto, los costes totales del proyecto ascienden a 1.439.249,52 euros, de los cuales la aportación (dineraria y no dineraria) del CSN será de 819.046,00 euros y la de las universidades participantes (UPC/UPM/UPV) de 620.203,52 euros. La aportación del CSN se corresponde con un 56,9 % del coste total del proyecto.

3. Distribución de pagos por parte del CSN

Los pagos (aportación dineraria) que realice el CSN se distribuirán a lo largo de todo el proyecto.

El calendario de pagos y las cantidades correspondientes se indican a continuación para cada universidad participante:

3.1 Grupo Departamento de Energía y Combustibles de la UPM.

- Un pago a la UPM de 9.000,00 euros en diciembre de 2024.
- Un pago a la UPM de 16.000,00 euros en junio de 2025.
- Un pago a la UPM de 16.000,00 euros en diciembre de 2025.
- Un pago a la UPM de 20.000,00 euros en junio de 2026.
- Un pago a la UPM de 20.000,00 euros en diciembre de 2026.
- Un pago a la UPM de 20.000,00 euros en junio de 2027.
- Un pago a la UPM de 20.000,00 euros en diciembre de 2027.
- Un pago a la UPM de 14.300,00 euros en junio de 2028.
- Un último pago a la UPM de 14.300,00 euros a la terminación del convenio.

3.2 Grupos MEDASEGI, SENUBIO y TIN de la UPV.

- Un pago a la UPV de 27.000,00 euros en diciembre de 2024 (corresponden 9.000 euros a cada grupo investigador).
- Un pago a la UPV de 48.000,00 euros en junio de 2025 (corresponden 16.000 euros a cada grupo investigador).
- Un pago a la UPV de 48.000,00 euros en diciembre de 2025 (corresponden 16.000 euros a cada grupo investigador).
- Un pago a la UPV de 60.000,00 euros en junio de 2026 (corresponden 20.000 euros a cada grupo investigador).
- Un pago a la UPV de 60.000,00 euros en diciembre de 2026 (corresponden 20.000 euros a cada grupo investigador).
- Un pago a la UPV de 60.000,00 euros en junio de 2027 (corresponden 20.000 euros a cada grupo investigador).
- Un pago a la UPV de 60.000,00 euros en diciembre de 2027 (corresponden 20.000 euros a cada grupo investigador).
- Un pago a la UPV de 42.900,00 euros en junio de 2028 (corresponden 14.300 euros a cada grupo investigador).
- Un último pago a la UPV de 42.900,00 euros a la terminación del convenio (corresponden 14.300 euros a cada grupo investigador).

3.3 Grupo «Advanced Nuclear Technologies» de la UPC.

- Un pago a la UPC de 9.000,00 euros en diciembre de 2024.
- Un pago a la UPC de 16.000,00 euros en junio de 2025.

- Un pago a la UPC de 16.000,00 euros en diciembre de 2025.
- Un pago a la UPC de 20.000,00 euros en junio de 2026.
- Un pago a la UPC de 20.000,00 euros en diciembre de 2026.
- Un pago a la UPC de 20.000,00 euros en junio de 2027.
- Un pago a la UPC de 20.000,00 euros en diciembre de 2027.
- Un pago a la UPC de 14.300,00 euros en junio de 2028.
- Un último pago a la UPC de 14.300,00 euros a la terminación del convenio.

4. Forma de pago

Cada uno de los pagos se realizará previa entrega por parte del coordinador del proyecto de la documentación mencionada en la Memoria Técnica correspondiente a cada hito, y que consistirá en un informe de progreso de las tareas y objetivos marcados en cada período. La aceptación de esta documentación por parte del CSN será condición necesaria para autorizarse cada pago.

En lo referente al último pago, se presentará con un mes de antelación un informe que resuma las conclusiones y recomendaciones de la totalidad de las actividades realizadas dentro de este convenio, haciendo referencia a toda la documentación generada a lo largo del mismo. El libramiento del último pago quedará condicionado a la presentación del informe final citado.

El CSN abonará su participación en el proyecto con cargo a sus presupuestos anuales de gastos, previo cumplimiento de los hitos que se definen en la Memoria Técnica y en la Memoria Económica.

Los pagos quedarán condicionados a la previa existencia de crédito específico y suficiente en cada ejercicio económico, con cumplimiento de los límites establecidos en el artículo 47 de la Ley General Presupuestaria.

El abono de dichas cantidades se hará efectivo mediante transferencia a la cuenta de las universidades participantes en este convenio, especificando en cada abono la referencia indicada en el requerimiento de pago correspondiente.

Entre la documentación que se entregue al CSN para proceder a la liquidación final del proyecto deberá incluirse un certificado total con todas las partidas de gasto que se indican en este convenio, que deberán ser debidamente justificadas a efectos contables y de control del gasto.

Las universidades participantes en este convenio realizarán dos documentos justificativos de los costes correspondientes en los que se haya incurrido. Uno a mitad del proyecto y otro al finalizar el mismo, incluyendo este último la información correspondiente a la totalidad del proyecto ejecutado.