



PLATAFORMA NACIONAL I+D
EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

LA I+D EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN ESPAÑA



© SEPR-PEPRI. 2015

Edita: Grupo SENDA

Depósito Legal: **M-37115-2015**



PLATAFORMA NACIONAL I+D
EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

LA I+D EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN ESPAÑA



RESUMEN EJECUTIVO

En España, existe una larga tradición en la investigación y desarrollo en el campo de la protección radiológica (PR), que se ha venido realizando tanto en centros básicamente dedicados a ese fin, como en grupos de investigadores de universidades y otros centros de investigación.

Actualmente existen varios programas en marcha que contemplan, de manera directa o indirecta la I+D en PR entre sus objetivos. Por orden de contribución de recursos económicos a la I+D en PR de las entidades españolas, los principales programas son:

- Programa Marco de I+D de EURATOM
- Programa de I+D del CSN
- Plan Nacional de I+D
- Programa de I+D de UNESA
- Programa de I+D de ENRESA

La líneas de trabajo actuales de la investigación sobre PR están relacionadas con las líneas de interés, que, a nivel europeo, se encuentran reflejadas en las agendas estratégicas de las diferentes Plataformas de I+D europeas en PR como NERIS, MELODI, EURADOS, ENETRAP, ALLIANCE, etc. En este informe, estas líneas se han agrupado en diez áreas temáticas, que se desarrollan en 33 subáreas y 112 líneas.

A finales de 2014, PEPRI realizó una encuesta entre sus miembros para conocer las actividades de I+D en PR realizadas en el periodo 2009-2014, recibándose respuestas de 39 entidades. Sobre la base de esta información, se ha preparado una recopilación de las entidades y recursos para cada Área y Subárea. El total de recursos dedicados en este periodo ha sido de 62,7 M€ (10,45 M€ anuales), con la siguiente distribución por Área temática:

ÁREA TEMÁTICA	Distrib. recursos
Detección y medida de las radiaciones	20%
Radiobiología y epidemiología	17%
PR del público y del medio ambiente	16%
PR en medicina	13%
PR en situaciones de exposición en emergencias	9%
Radiaciones no ionizantes	8%
PR en situaciones de exposiciones existente	8%
PR en situaciones de exposición planificada	5%
Educación, formación y aspectos sociales	3%
Gestión de residuos radiactivos	1%

A partir de esta información, se han identificado los actores de la I+D en PR en España, tanto a nivel de investigadores como de promotores. Ordenados según los recursos dedicados, los más significativos son los siguientes:

INVESTIGADORES			
• CIEMAT	30%	• Tecnatom	1%
• CREAL	14%	• IS CARLOS III	1%
• U. Autónoma Barcelona	6%	• S Gallego de Salud	1%
• U. Complutense Madrid	5%	• U. Barcelona	1%
• U. Cantabria	4%	• IRYCIS	1%
• U. Sevilla	4%	• GDES	1%
• Sincrotron ALBA	3%	• H. 12 de Octubre	1%
• U. Autónoma Madrid	3%	• U. País Vasco	1%
• C. Láseres Pulsados	3%	• EPRI	1%
• U. Ex. LARUEX	3%	• U. Las Palmas de GC	1%
• U.P. Cataluña	2%	• U. Islas Baleares	1%
• URV	2%	• U. P. Valencia	1%
• U. Málaga	2%	• Resto (15 entidades)	3%
• HU G. Marañón	1%		
PROMOTORES			
• Programa Marco UE	23%	• Plan Nacional de I+D	9%
• Autofinanciación CIEMAT	21%	• Otras entidades Privadas	8%
• Autofinanciación resto	20%	• Industria y Energía	3%
• CSN	16%	• Adminis. Aut. o locales	1%

Destaca el alto nivel de autofinanciación en este campo, especialmente la aportación del CIEMAT con más del 30% de los recursos totales de I+D en PR.

También se presenta un resumen de la información sobre las infraestructuras de I+D en PR existentes en nuestro país, elaborado a partir de las 32 respuestas recibidas al cuestionario circulado sobre este aspecto. Debe destacarse al CIEMAT, organismo público español de investigación, que dispone de nueve laboratorios que cubren las áreas temáticas de protección radiológica del medio ambiente y del público, dosimetría personal y ambiental, cálculo numérico en dosimetría y metrología de las radiaciones. Así mismo, un número importante de universidades, centros hospitalarios y algunas empresas también disponen de instalaciones y métodos de cálculo que les permiten desarrollar actividades de I+D. Como instalaciones singulares adicionales hay que destacar, entre otras, el Centro Nacional de Aceleradores de Sevilla, el Sincrotrón ALBA y el Centro Láser de Salamanca.

Respecto a los resultados de estas actividades de I+D, estos se han plasmado en más de 1.100 publicaciones reportadas por los diferentes investigadores, lo que corresponde a una media de más de 190 publicaciones anuales. Así mismo se han identificado 5 patentes correspondientes a diseños de materiales de blindaje y otros productos tales como programas de ordenador, cursos, etc. derivados de estas actividades.

Como conclusión, se puede afirmar que actualmente, España dispone de infraestructuras tecnológicas y capacidades experimentales con una actividad notable en I+D en PR con una creciente presencia en programas europeos. Con diverso grado de extensión, esta I+D en nuestro país cubre todo el espectro desde la investigación básica (efectos de las radiaciones, epidemiología, dosimetría, radioecología, etc.), hasta la más operativa o de aplicación.

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES DE LA I+D DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA (PR) EN ESPAÑA	6
2. PROGRAMAS DE I+D QUE INCLUYEN LA PR	7
2.1. Programa Marco de I+D de EURATOM	
2.2. Programa de I+D del CSN	
2.3. Plan Nacional de I+D	
2.4. Programa de I+D de UNESA	
2.5. Programa de I+D de ENRESA	
2.6. Otros programas	
2.6.1. <i>Otras Entidades privadas</i>	
2.6.2. <i>Comunidades Autónomas</i>	
2.7. Autofinanciación	
3. PRIORIDADES CIENTÍFICO-TÉCNICAS Y SOCIALES DE LA I+D EN PR	15
3.1. PR en situaciones de exposición planificada	
3.2. PR en situaciones de exposición existente	
3.3. PR en situaciones de exposición de emergencia y de Seguridad Física de fuentes radiactivas	
3.4. PR del público y del medio ambiente	
3.5. Gestión de Residuos Radiactivos	
3.6. Radiaciones no ionizantes	
3.7. PR en medicina	
3.8. Radiobiología y Epidemiología	
3.9. Detección y medida de las radiaciones	
3.10. Educación, formación y aspectos sociales	
4. DESCRIPCIÓN DE PROGRAMAS DE I+D EN PR EN CURSO	21
4.1. Líneas de trabajo actuales por áreas temáticas	
4.2. Principales actores de la I+D en PR	
4.2.1. <i>Investigadores</i>	
4.2.2. <i>Promotores de la I+D</i>	
4.2.3. <i>Principales infraestructuras de I+D</i>	
5. RESULTADOS DE LA I+D	36
ANEXOS:	37
A. Entidades que han respondido al cuestionario sobre la actividades de I+D en PR en el periodo 2009-2014	
B. Entidades que han respondido al cuestionario sobre la infraestructuras de I+D en PR	

1.**ANTECEDENTES DE LA I+D DE PR EN ESPAÑA**

En España, existe una larga tradición en la investigación y desarrollo en el campo de la protección radiológica (PR), que se ha venido realizando tanto en centros básicamente dedicados a ese fin, como en grupos de investigadores de universidades y otros centros de investigación. En su momento uno de los estímulos para la I+D en PR fue la inyección masiva de material radiactivo al medio, debida a las pruebas nucleares que se realizaron en las décadas de 1950 y 1960, a lo que se unió el gran desarrollo de la industria nuclear.

Los primeros trabajos de medidas de radiactividad y niveles del fallout radiactivo, en España, tuvieron lugar en la antigua Junta de Energía Nuclear (JEN). A principios de los años 60, comienza la regulación formal de la radiación, se establece e introduce el concepto de dosis tolerable, se crean servicios de protección médica, se mide la contaminación radiactiva y se establecen sistemas dosimétricos del personal de explotación. Se definen las zonas controladas y vigiladas y se fijan las dosis máximas permisibles por exposición externa, así como las concentraciones máximas permisibles de isótopos radiactivos en agua para beber y aire respirable.

La promulgación de la Ley 25/64 sobre Energía Nuclear reforzó la investigación sobre los usos científicos e industriales de la radiación y la producción de isótopos. Entre los temas que resultaba imprescindible desarrollar se identificaron los de la protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes y la gestión de los residuos radiactivos. En los años 70 tuvieron lugar las primeras evaluaciones de dosis a partir de concentraciones ambientales de radionucleidos. En los 80 se inició la consideración de las fuentes de radiactividad natural y el establecimiento de líneas de actividad en I+D complementarias que trascendían a la simple medida y abordaban la modelización, interpretación y evaluaciones del impacto radiológico. El accidente de Chernóbil en 1986 potenció dichos estudios y España comenzó su participación en proyectos internacionales.

Paralelamente, la utilización de las radiaciones en el ámbito médico iba en aumento, con el consiguiente progreso de la I+D relativa a la PR en esta área. Asimismo, la investigación dirigida al estudio de los efectos de la radiación progresó gradualmente durante esas décadas. La década de los 90 supuso la consolidación de la I+D en el campo de la PR, integrando la actividad en proyectos de I+D multinacionales, fundamentalmente dentro del Programa Marco de la Unión Europea (UE). La recuperación ambiental post-accidente se añadió a las líneas tradicionales y se comenzaron estudios dirigidos a disponer de un sistema de ayuda a la decisión para la gestión de emergencias radiológicas y nucleares.

En los primeros años del siglo actual, la I+D en PR se adaptó al nuevo enfoque de la PR, que, más allá de la consideración puramente antropológica de sus objetivos, atiende a la protección del medio ambiente de manera global. En los últimos años, asistimos a un nuevo período de evaluación y debate que nos enfrenta a nuevos retos, entre los que la base radiobiológica, las implicaciones sociales en la toma de decisión, la protección de especies distintas al hombre o la gestión de la radiactividad natural son ejemplos representativos.

Actualmente, España dispone de adecuadas infraestructuras tecnológicas y capacidades experimentales con una actividad notable en I+D en PR, con una creciente presencia en programas europeos. Con diverso grado de extensión, esta I+D en nuestro país cubre todo el espectro: desde la que podría denominarse investigación básica (efectos de las radiaciones, epidemiología, dosimetría, radioecología, etc.), hasta la más operativa o de aplicación.

2.

PROGRAMAS DE I+D QUE INCLUYEN LA PR

Actualmente existen varios programas en marcha que contemplan, de manera directa o indirecta la I+D en PR entre sus objetivos. Por orden de contribución de recursos económicos a la I+D en PR de las entidades españolas estos programas son:

- Programa Marco de I+D de EURATOM
- Programa de I+D del CSN
- Plan Nacional de I+D
- Programa de I+D de UNESA
- Programa de I+D de ENRESA
- Otros programas

2.1. Programa Marco de I+D de Euratom

Desde la entrada de España en la actual Unión Europea, grupos españoles de investigación en este campo han accedido de manera más o menos regular al Programa Marco (PM) de I+D de EURATOM en el área de la seguridad de la fisión nuclear, que ha incluido siempre, desde su implantación, como uno de sus objetivos específicos clave, la investigación en PR. Dependiendo de los programas de trabajo anuales, las prioridades de la investigación han ido variando, aunque siempre han estado presentes, más o menos directamente, los aspectos dirigidos a la medida y cuantificación de dosis, el comportamiento ambiental de los radionucleidos y la evaluación de su impacto en distintas situaciones de exposición, los efectos biológicos de las radiaciones y la protección radiológica en el ámbito médico.

El Programa EURATOM-Fisión del actual PM, el denominado H2020, contempla, en su programa de trabajo 2014-2015, la acción de I+D en PR “NFRP 7: Integración de la investigación en protección radiológica en la UE”. Esta acción se basará en las agendas estratégicas de investigación de las Plataformas de I+D europeas existentes, haciendo uso también de otros conocimientos, especialidades y capacidades existentes en Europa, especialmente en relación con el uso médico de la radiación ionizante. La financiación de la UE se dedicará específicamente a fomentar una mayor integración, a nivel de la propia UE, de la investigación en protección radiológica, prestando atención a la interacción y las sinergias que puedan establecerse entre las distintas áreas de especialización y conocimiento.

A esta acción NFRP 7 se ha presentado una única propuesta denominada CONCERT, elaborada por un consorcio compuesto por diversas entidades de I+D en PR europeas, en el que existe representación española. Está previsto que CONCERT realice dos convocatorias abiertas para la financiación de proyectos de I+D en PR, siendo, previsiblemente, los temas de estas convocatorias los identificados como prioritarios dentro de los temas incluidos en las agendas estratégicas de investigación desarrolladas por las Plataformas Europeas en PR existentes actualmente y mencionadas antes. La asignación de fondos a estas convocatorias supondrá un total de 16.500.000 €, de los cuales 11.500.000 € serán de financiación de la Comisión Europea (CE) y los 5.000.000 € restantes serán de cofinanciación de los países de las organizaciones participantes.

Un resumen de la participación española en los dos últimos PM se ofrece en la *tabla 2.1*, incluyendo la financiación obtenida. En ellas, sólo se incluyen los proyectos de I+D estrictamente referidos al objetivo de Protección Radiológica del PM mencionado.

Tabla 2.1 Resumen de la participación española en los dos últimos PM

6º PROGRAMA MARCO EURATOM FISIÓN - PR				7º PROGRAMA MARCO EURATOM FISIÓN - PR			
PROYECTO (Nº Participantes)	PARTICIPANTE ESPAÑOL	FINANCIACIÓN EU (€)	PROYECTO (Nº Participantes)	PARTICIPANTE ESPAÑOL	FINANCIACIÓN EU (€)		
CT SAFETY AND EFFICA (11)	UC. Madrid	131.000,00	ORAMED (12)	U.P. Cataluña	160.176,00		
SENTINEL (23)	UC. Madrid	54.000,00	MADEIRA (7)	CSIC	460.778,00		
FUTURAE (10)	CIEMAT	20.005,00	ARCH (3)	CREAL	48.150,00		
GENRISK-T (10)	CIEMAT	108.676,00	CHILD-MED-RAD (9)	CREAL	95.195,76		
RISC-RAD (34)	CNIO	317.200,00	DoReMi (32)	CREAL	265.289,70		
RISC-RAD (34)	U.A. Barcelona U.A. Madrid	293.000,00 183.000,000	STAR (9)	CIEMAT	253.330,00		
EURANOS (55)	CIEMAT CSN U.P. Madrid	22.733,00 39.205,87 32.669,17	NERIS-TP (20)	U.P. Madrid CIEMAT	53.682,19 48.150,00		
			EPI-CT (18)	CREAL	393.884,00		
			RENEB (24)	Hospital La Fe Valencia U. A. Barcelona SERMAS Hospital GM	17.976,00 29.999,59 17.976,00		
			CEREBRAD (11)	U. Rovira i Virgili	300.000,00		
ERICA (15)	CIEMAT	47.100,00	PROCARDIO (12)	CREAL	218.800,00		
ALPHA RISK (19)	CREAL	86.408,00	DAR-RISK (5)	U. A. Barcelona Scio. Gallego Salud	353.287,00 278.550,00		
ENETRAP (11)	CIEMAT	24.960,00	RISK-IR (10)	CNIO	399.244,00		
			PREPARE (46)	U.P. Madrid CIEMAT U. SEVILLA	93.891,70 92.367,13 49.216,00		
			COMET (13)	CIEMAT	138.934,16		
			OPERRA (14)	CREAL	136.172,48		
			ENETRAP III (13)	CIEMAT	47.376,00		
			EUTEMPE-RX (13)	Scio. Madrileño Salud U.P. Cataluña	56.442,00 73.830,00		
TOTAL 6º PM 1.359.957,04 €			TOTAL 7º PM 4.082.697,71 €				

2.2. Programa de I+D del CSN

Probablemente, los programas de I+D del CSN han constituido, a nivel nacional, la fuente de financiación más extendida para los grupos españoles. Aunque sería prolijo señalar todas las líneas de I+D incluidas en sus Planes, en las mismas se incluyeron aspectos relativos a la vigilancia radiológica, la dosimetría, la radiactividad natural, la reducción de dosis en la práctica médica, los efectos biológicos de las radiaciones, el tratamiento de las situaciones accidentales en sus diferentes fases de emergencia y recuperación del medio, la mejora de la instrumentación de control, la protección del medioambiente y la gestión de los residuos radiactivos.

En el CSN la investigación se desarrolla de acuerdo a sus Planes de I+D, de vigencia cuatrienal. Como antecedente más reciente, el Plan de I+D 2012-2015 responde a los siguientes objetivos del Organismo:

- Contribuir a asegurar un alto nivel de seguridad y protección radiológica en instalaciones nucleares y radiactivas hasta que alcancen el final de su vida útil.
- Mejorar la vigilancia y control de la exposición de los trabajadores y del público a las radiaciones ionizantes.
- Avanzar en el desarrollo de la PR en las exposiciones médicas.
- Disponer de los conocimientos y medios técnicos para identificar los riesgos radiológicos asociados a instalaciones futuras.

Estos objetivos se ordenan en los siguientes programas, en lo que se refiere a protección radiológica:

- Residuos radiactivos.
- Desarrollo de códigos y modelación.
- Control de la exposición a la radiación y protección del medio ambiente.
- Dosimetría y radiobiología.
- Protección radiológica del paciente.
- Gestión de emergencias y seguridad física.

La siguiente tabla resume la inversión en I+D en PR realizada en el periodo 2009-2014 en las líneas de I+D indicadas anteriormente y recogidas en sus dos últimos Planes. En líneas generales se ha mantenido en este periodo una media anual de 23 proyectos financiados de acuerdo a una inversión anual según se indica en la tabla siguiente (*tabla 2.2*).

Tabla 2.2. Inversión del CSN en I+D en Protección Radiológica en el periodo 2009-2014.

2009	2010	2011	2012	2013	2014
1.320.392	1.483.446	1.241.379	1.328.571	578.000	613.333

* Cifras en euros

2.3. Plan nacional de I+D

El anterior Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (Plan Nacional de I+D+i, 2008 - 2011) era el instrumento de programación con el que contaba el sistema español de Ciencia, Tecnología y Empresa para la consecución de los objetivos y prioridades de la política de investigación, desarrollo e innovación tecnológica de nuestro país a medio plazo, según se define en la Ley de la Ciencia y en la Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología (ENCYT).

El actual Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación (2013-2016) ha sido elaborado para corregir las debilidades detectadas y fortalecer el Sistema Español de Ciencia, Tecnología

e Innovación mediante el diseño de actuaciones dirigidas a incrementar la excelencia y el liderazgo científico y tecnológico; impulsar el liderazgo empresarial, fomentar el talento definiendo mecanismos que faciliten la adecuada inserción del mismo; y orientar las actividades de I+D+i hacia los retos de la sociedad, incidiendo sobre aquellos factores que condicionan, el futuro desarrollo y bienestar de la sociedad.

El Plan está integrado por cuatro programas estatales que corresponden a los objetivos generales establecidos en la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología y de Innovación. Los programas estatales se despliegan en un total de 18 subprogramas de carácter plurianual. Además, el Plan Estatal recoge dos Acciones Estratégicas: la Acción Estratégica de Salud y la Acción Estratégica de Sociedad y Economía Digital.

Si bien **la temática de la PR no ha estado incluida de forma explícita en los diferentes Planes Nacionales de I+D**, los grupos de investigación que trabajan en este campo acceden a financiación de esta fuente, a través de áreas generales como energía, física, salud y medio ambiente. En concreto se ha accedido a ayudas a través de los programas de promoción e incorporación del talento de fomento de la investigación científica y técnica de excelencia, de liderazgo empresarial en I+D+i y de I+D+i orientada a los retos de la sociedad.

Dentro de este último Programa existen dos subprogramas: el Subprograma estatal orientado al reto en **energía segura, eficiente y limpia**, el Subprograma estatal orientado al reto en **salud, cambio demográfico y bienestar** y el reto en **seguridad protección y defensa**.

Concretamente en el reto en **Energía segura, eficiente y limpia**, cabe señalar dentro de las prioridades científico-técnicas y empresariales:

Energía nuclear sostenible: (i) reactores, seguridad, prevención y diseño de nuevos combustibles; (ii) apoyo a la gestión de los combustibles usados y residuos de alta actividad; (iii) reducción de residuos mediante técnicas de separación y transmutación y (iv) tratamiento y gestión de los residuos de media y baja actividad.

El reto **Salud, cambio demográfico y bienestar** se desarrolla a través de la Acción Estratégica en Salud, siendo el Instituto de Salud Carlos III, el organismo gestor de esta acción.

Y en el reto de **Seguridad y protección de las libertades y derechos de los ciudadanos**, se identifica la prioridad:

Tecnologías de aplicación a la protección de las personas, especialmente frente a impactos balísticos, artefactos explosivos y amenazas NBQ y de protección de plataformas e instalaciones críticas y control de fronteras, así como tecnologías de apoyo a las condiciones de operación de las personas como la carga física, la conectividad y otros factores humanos incluyendo los aspectos biométricos.

En el periodo 2009-2014, el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) a través de sus diferentes programas ha aportado un total de 5,6 M€ a la I+D en PR, lo que representa un 9% del total de los recursos dedicados. El área con más financiación ha sido la radiactividad ambiental, dirigida principalmente a universidades. Ha seguido la investigación sobre efectos, también dirigido a universidades; la PR en medicina, en la que también ha habido hospitales y el Centro de Láseres pulsados; y finalmente dosimetría, dirigido también a universidades y en menor medida a CIEMAT, como Centro de referencia nacional.

2.4. Programa de I+D de Unesa

UNESA agrupa al conjunto de las empresas eléctricas y centrales nucleares españolas. Hasta los años 90 la financiación de la investigación promovida por este Sector se realizaba a través del Plan de Investigación Electrotécnico (PIE), que detraía un 0,3% de la tarifa eléctrica directamente para este propósito. La liberalización del Sector Eléctrico puso fin a este sistema, pasándose a aportaciones directas de los interesados para la financiación de la I+D.

A mediados de los años 90 se inició el Plan Coordinado de I+D UNESA-CSN (PCI), que planteaba proyectos de interés común para el Sector y el CSN con una financiación equitativa de UNESA y el CSN. A través del PCI se llevaron a cabo diversos proyectos de I+D relacionados con la PR.

A principios de los años 2000, UNESA inició su participación en el programa de I+D nuclear del *Electric Power Research Institute* de Estados Unidos (EPRI). En este programa participan todas las empresas eléctricas norteamericanas, así como importantes socios internacionales (Canadá, Japón, Francia, etc.) y está dirigido específicamente a los temas relacionados con la operación de las centrales nucleares existentes.

UNESA aporta del orden de 4 M€ anuales al programa de I+D de EPRI, de los cuales 0,5 M€ anuales están asociados a temas de PR con la siguiente distribución por áreas:

Área	Peso %
Gestión de la radiación	35%
Residuos de media y baja actividad	20%
Protección del medioambiente	45%

Existe un mecanismo de retorno de los fondos a entidades de I+D españolas que trabajen para los proyectos de EPRI, si demuestran capacidad en las áreas de interés de este organismo. Este mecanismo se activa a través de propuestas a UNESA.

2.5. Programa de I+D de Enresa

Este programa ha sido una fuente habitual de financiación de grupos universitarios y centros de investigación, si bien hay que considerarlo como una investigación muy específicamente dirigida a la gestión de residuos radiactivos. Ciñéndose a la I+D con mayor relación con la PR, el Programa (*tabla 2.3*), tradicionalmente, ha incluido líneas dirigidas a aspectos como:

- **Restauración ambiental:** centrada en los desarrollos necesarios para el tratamiento de la biosfera en las evaluaciones de impacto radiológico de la gestión de residuos radiactivos en la salud humana y el medio ambiente. Se incluyen, así mismo, estudios necesarios para la restauración de entornos con contaminación radiológica y actividades experimentales necesarias para la validación de modelos conceptuales y numéricos en desarrollo. En las previsiones de esta línea para el período 2014 – 2018 se encuentran los desarrollos metodológicos y normativos relacionados con restauración medioambiental considerando la contaminación radiactiva.
- **Protección radiológica,** propiamente dicha: focalizada en el seguimiento y participación en trabajos internacionales dirigidos tanto al desarrollo y mejora de herramientas de análisis, fundamentalmente numéricos, como a los desarrollos sobre la evolución de los criterios de seguridad radiológica a nivel internacional, con un especial seguimiento de las actividades en materiales NORM (*Naturally Occurring*

Radioactive Material) y la PR del medio ambiente. Esta línea también ha incluido I+D de sistemas de detección dinámica de material radiactivo mezclado con otros materiales, con equipos fijos y móviles. La línea prevé, para el período 2014 – 2018, la continuación de actividades, que requieren de una presencia en foros internacionales, relacionadas con mejoras metodológicas, normativas, definición y armonización de criterios de PR y del medio ambiente a nivel internacional. Se abordarán desarrollos dentro de la Cultura de la Seguridad de acuerdo con las necesidades de ENRESA.

Tabla 2.3 Programa de I+D de ENRESA en Protección Radiológica y restauración ambiental entre los años 2009 y 2014

Área		2.009	2.010	2.011	2.012	2.013	2.014	Total
Restauración ambiental		62.668	62.668	45.333	136.576	99.347	78.325	484.917
Protección radiológica	General	48.774	48.774	48.774	14.969	59.875	59.875	281.040
	Detección dinámica	23.183	34.775	24.332	9.969	39.875	29.906	162.040
	Cultura de la seguridad	4.143	24.856	20.713	0	49.600	0	99.312
TOTAL (€)		76.099	108.404	93.818	24.938	149.350	89.782	542.392

* Cifras en euros

2.6. Otros programas

2.6.1. Otras Entidades privadas

En el periodo 2009-2014, ha habido apoyos de algunas entidades privadas: Fundaciones, empresas, etc. a la I+D en PR. En el total del periodo ha representado del orden de 1,25 M€. Las empresas suelen estar interesadas en la I+D aplicada a temas tales como tratamiento de aguas, radiaciones no ionizantes y detectores. Las fundaciones y asociaciones apoyan temas de I+D mas básica, relacionada con los efectos de las radiaciones y aplicaciones medicas.

Una relación de entidades que se han identificado que han apoyado la I+D en PR en este periodo se indica en la *tabla 2.4*.

Tabla 2.4 Entidades privadas que han financiado actividades de I+D en PR

Adasa Sistemas S.A.U	Fundación MAPFRE
Agroman	IBA Molecular Spain, S.L.
Aguas de Barcelona	INDIBA S.A
Alter TechnologyGroup	Fundación La Caixa
AMPHOS21 Consulting	Fundación Santander
AREVA	Labs & Technological Services AGQ, S.L.
Asociación Española contra el Cancer (AECC)	Multiscan Technologies, S.L
CEPERSA	TEXSA S.A.
Ferrovial	Triskem International

2.6.2. Comunidades Autónomas

En el periodo 2009-2014, algunas Comunidades Autónomas han llevado a cabo sus propios planes de apoyo a la I+D, básicamente dirigido a grupos universitarios locales, aunque no siempre como Planes de Investigación propiamente dichos.

En **Cataluña**, desde hace bastantes años, el Plan de Investigación Plurianual no incluye partidas para proyectos de I+D+i. Al igual que en otras Comunidades, se ha creado la figura de *Grupos de Excelencia*, en Cataluña denominados Grupos consolidados, a los que se les asigna una ayuda anual total del orden de 10.000€/año. También hay otra línea, a través de la *AGAUR: Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca*, que concede ayudas a estos *Grupos consolidados*, del mismo orden que la anterior. Entre los proyectos se ha identificado uno en el Área de PR en Medicina, subárea Terapia, desarrollado por la U.P. Cataluña titulado: *Acelerador de partículas*, que ha tenido una ayuda de 70.500€ de la Generalidad Catalana.

En el **País Vasco** existen actualmente varios tipos de convocatorias para solicitar ayudas a la I+D, siendo las más aplicables a esta temática las siguientes:

- **Convocatoria de Ayudas a la Investigación en la UPV/EHU- Proyectos de Investigación:** Esta modalidad financia la actividad investigadora de equipos de investigación de la U. País Vasco. Además, facilita la iniciación de proyectos en áreas innovadoras respecto de su entorno científico, tecnológico y humanístico, promoviendo un mínimo de proyectos en líneas o áreas de conocimiento identificadas por su dificultad para obtener financiación externa.
- **Convocatoria ETORTEK:** Ayudas del Departamento de Desarrollo Económico y Competitividad a la investigación estratégica realizada por los Agentes Científico-Tecnológicos de la Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación
- **Convocatoria SAIOTEK:** Financiación de los planes de actuación presentados por los Agentes Científico-Tecnológicos de la Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Asimismo, existen convocatorias para la financiación de infraestructuras de investigación y de grupos de investigación consolidados. Entre los proyectos se ha identificado tres, uno en el Área de Exposición de emergencia, subárea de Caracterización y otros dos en el Área de PR del público y del medio ambiente, subárea de Radiactividad ambiental. Todos estos proyectos se han desarrollado en la U. País Vasco y la ayuda ha ascendido a un total de 249.000 €, en el periodo 2009-2014.

Las previsiones del Gobierno Vasco para los próximos años es la siguiente:

Cifras millones €	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	TOTAL
Total Gasto interno en I+D	1.326	1.383	1.453	1.559	1.673	1.797	1.909	11.100
Financiación de la AAPP	461	479	507	526	547	568	590	3.677
Financiación de Empresas	779	810	843	918	1.001	1.091	1.167	6.609
Financiación internacional	86	94	104	114	126	138	152	814

La **Junta de Andalucía** también ha financiado dos proyectos a la U. Sevilla, uno en el Área de PR en Medicina, subárea de Terapia, y el otro en el Área de Gestión de Residuos Radiactivos, subárea de Caracterización, por un valor total de 148.232 € en el periodo 2009-2014.

En la **Comunidad Valenciana**, en relación a convocatorias de empleo, tanto públicas como privadas existen becas y contratos Pre y Post-Doctorales:

- Pre-Doctorales:

Ayuntamiento de Valencia: Carmen y Severo Ochoa. Consellería de Educación: Estancias de Becarios y Predoctorales en Centros de Investigación, Programa VALi+D Pre-doctorales. El Programa Gerónimo-Fortez. Ministerio de Economía y Competitividad: Incorpora (Licenciados, Torres Quevedo).

Becas Instituto de Salud Carlos III: Ayudas Pre-doctorales de Formación en Investigación en Salud Río Hortega (superado la Formación Sanitaria Especializada).

- Post-Doctorales:

Consellería de Educación: Programa VALi+D Post-doctorales. Instituto de Salud Carlos III: Sara Borrell (post-doctorales de perfeccionamiento), Miguel Servet (Contratos asociados a Investigación en Sanidad). Ministerio Economía y Competitividad: Ramón y Cajal y Juan de la Cierva (doctores recientes). Contratos de Investigación del Instituto de Investigación Sanitaria La Fe – Bancaza: Post-doctorales o Post-residentes y 5 contratos de investigación, hasta 3 años de duración.

Finalmente, la **Comunidad Extremeña** también ha apoyado a la U. Extremadura en el Área de Exposición existente, subárea de Metodología de evaluación del impacto radiológico, y PR del público y Medio Ambiente, subárea de Radiactividad Ambiental, por un valor total de 95.113€ en el periodo 2009-2014.

2.7. Autofinanciación

La autofinanciación por parte de las entidades que realizan labores de investigación representa un 41% de los recursos totales que se dedican a esta labor. El CIEMAT destaca que aporta más del 50% de estos recursos. Del resto, tienen más aportación como autofinanciación aquellas entidades que participan en proyectos que la exigen, como los de los Programas Marco de la UE. En este caso prácticamente la mitad de los recursos propios son aportados por el Centro de Investigación, como en el caso del CREAL. Las universidades aportan otro tercio y el resto se reparte entre empresas privadas y hospitales.

3. PRIORIDADES CIENTÍFICO-TÉCNICAS Y SOCIALES DE LA I+D EN PR

La líneas de trabajo actuales de la comunidad científica nacional de la investigación sobre PR están relacionadas con las líneas de interés, que, a nivel europeo, se encuentran reflejadas en las agendas estratégicas de las diferentes Plataformas de I+D europeas en PR como NERIS, MELODI, EURADOS, ENETRAP, ALLIANCE, etc. Con objeto de exponer de forma ordenada este conjunto de líneas de interés, se han definido un conjunto de diez **áreas temáticas**, que se desarrollan en **33 subáreas** y **112 líneas**. Entre las diferentes áreas temáticas pueden existir lógicas intersecciones, pero con esta clasificación se pretende cubrir de forma sistemática todos los aspectos actuales de la PR. Para cada una de ellas, los grupos integrados en las mismas dentro de PEPRI han definido los intereses de investigación y desarrollo, que se identifican con las líneas de trabajo que se presentan en la *tabla 3.1*.

Tabla 3.1 Definición de áreas temáticas de la I+D en PR

ÁREA 1	PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN PLANIFICADA <i>Protección radiológica ocupacional en centrales nucleares, Instalaciones del ciclo de combustible, Transportes, Aplicaciones médicas, de investigación, industriales, agrícolas, etc.</i>
<p>1. Desarrollo de metodologías y procedimientos de gestión del riesgo radiológico de trabajadores expuestos y para la aplicación del criterio ALARA.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Gestión de trabajos b. Control radiológico a distancia c. Mapas de radiación en zonas de trabajo d. Robotización de tareas e. Monitorización de la exposición a emisores alfa, beta y de la exposición a neutrones f. Vigilancia de la dosimetría de extremidades g. Desarrollo de procedimientos y sistemas de protección para reducir la exposición <p>2. Desarrollo de sistemas de control y protección radiológica</p> <ul style="list-style-type: none"> h. Identificación de escenarios que puedan verse afectados por los nuevos límites de dosis a los trabajadores i. Monitorización de dosis en cristalino <p>3. Optimización de la protección radiológica en nuevas prácticas con radiaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> j. Centros de láseres pulsados k. Aceleradores para investigación: Sincrotrón, Van der Graff l. Nuevos desarrollos tecnológicos para la investigación de materiales para fusión 	

ÁREA 2	PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN EXISTENTE <i>Exposición al radón, contenido de radiactividad natural en aguas potables, Actividades NORM, Mapa radiológico nacional (MARNNA), Radiación cósmica en vuelo y otras fuentes de radiación natural.</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollo de métodos y técnicas de caracterización radiológica 2. Desarrollo, adaptación y mejora de técnicas y metodologías para la gestión de la exposición existente <ol style="list-style-type: none"> a. Reciclado y reutilización de materiales b. Desarrollo de criterios de restauración y liberación en entornos urbanos, agrícola y naturales c. Desarrollo de mapas de situación a diversas escalas d. Tratamiento y acondicionamiento de materiales 3. Desarrollo, adaptación y mejora de sistemas y técnicas de reducción del impacto radiológico. <ol style="list-style-type: none"> e. Radón f. Industrias NORM g. Restauración de emplazamientos afectados por prácticas del pasado con radiaciones ionizantes h. Mitigación/Remediación/Acciones de intervención resultantes de incidentes o accidentes 4. Desarrollo y mejora de métodos de evaluación del impacto radiológico <ol style="list-style-type: none"> i. Situaciones y actividades con radionucleidos de origen natural j. Situaciones originadas por otras prácticas y actividades (dosis en vuelos, etc.) k. Fase de recuperación post-Fukushima 	
ÁREA 3	PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN DE EMERGENCIA Y DE SEGURIDAD FÍSICA DE FUENTES RADIATIVAS <i>Preparación y respuesta a emergencias, Criterios radiológicos, Sistemas de apoyo a la decisión y a la gestión, Tratamiento a personas irradiadas o contaminadas, Incidentes y accidentes pasados y lecciones aprendidas, Sucesos malintencionados, Gestión de la fase de recuperación post-accidente.</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistemas de ayuda a la toma de decisiones <ol style="list-style-type: none"> a. Sistemas expertos de ayuda. Redes de alerta temprana b. Modelos de cálculo (término fuente; dispersión; deposición y transferencia) 2. Caracterización radiológica de la fase post-accidente <ol style="list-style-type: none"> c. Sistemas de vigilancia en situaciones de emergencia para medidas <i>in situ</i> y remotas d. Seguimiento individual de la población e. Caracterización y gestión de alimentos y bienes de consumo contaminados 3. Gestión de la fase post-accidente: Desarrollo y mejora de técnicas y métodos de limpieza y restauración <ol style="list-style-type: none"> f. Usos especiales de técnicas y métodos existentes g. Nuevas técnicas y métodos para áreas urbanas y para entornos de uso agrícolas o naturales h. Criterios destinados a la implementación del principio ALARA i. Adaptación a España de los Manuales de gestión desarrollados en proyectos europeos (EURANOS) 4. Mejora de los planes de emergencia nuclear <ol style="list-style-type: none"> j. Metodología y herramientas para la mejora de la eficacia y optimización de las medidas de protección (lecciones aprendidas) para su implantación individualizada y adaptada a las condiciones reales de los emplazamientos k. Sistemas para la mitigación de los daños a las centrales en caso de accidente 5. Situaciones de exposición en eventos que afecten la seguridad física <ol style="list-style-type: none"> l. Detección de materiales nucleares y radiactivos en fronteras, actos públicos de relevancia y en grandes concentraciones de masas m. Detección de actividades no declaradas n. Técnicas de imagen en exposiciones no médicas o. Técnicas y análisis forenses aplicables a escenarios de crímenes radiológicos 	

ÁREA 4 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DEL PÚBLICO Y DEL MEDIO AMBIENTE

Limitación, vigilancia y control de efluentes, Vigilancia radiológica ambiental, Sistema de protección radiológica del público y del medio ambiente y Radioecología

1. Radiactividad ambiental

- a. Metodologías para la determinación del contenido de radionucleidos en los componentes del ecosistema (Métodos más rápidos, precisos, sensibles, específicos, en matrices complejas, adaptación de técnicas, medidas *in situ*, nueva instrumentación, etc.)
- b. Tratamiento e interpretación de resultados
- c. Tecnologías para la separación de radionucleidos en productos de consumo

2. Radioecología

- d. Procesos y mecanismos de transferencia de radionucleidos en el medio ambiente. Dinámica de los procesos
- e. Determinación de parámetros implicados en la cuantificación de la transferencia
- f. Caracterización físico-química y especiación de radionucleidos
- g. Modelos de predicción del comportamiento de los radionucleidos en el medio y de su variación espacio-temporal. Identificación y cuantificación de vías de exposición a la radiación
- h. Utilización de radionucleidos naturales y artificiales como trazadores o marcadores de diversos procesos ambientales naturales

3. Impacto radiológico ambiental

- i. Modelos y metodologías para la evaluación de las dosis/riesgos al público derivadas de la presencia de radionucleidos en el medio ambiente
- j. Evaluación de dosis y efectos sobre organismos representativos de la biota

ÁREA 5 GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

Generación, Acondicionamiento de residuos, Gestión de fuentes en desuso, Instalaciones de gestión, Desmantelamiento y clausura de instalaciones

1. Minimización de residuos

- a. Técnicas de descontaminación
- b. Técnicas de optimización de volumen
- c. Desclasificación de residuos

2. Caracterización de residuos

- d. Técnicas y equipos de medida
- e. Caracterización de residuos singulares (grandes componentes)
- f. Caracterización de residuos de alta actividad
- g. Medida de parámetros, superficies y terrenos
- h. Modelos para la determinación del impacto radiológico

3. Almacenamiento de bultos de residuos

- i. Mecanismos de comportamiento de los radionucleidos y elementos químicos no radiactivos en las matrices de los bultos de residuos radiactivos en su almacenamiento temporal y definitivo
- j. Criterios y metodologías de análisis para la aceptación de nuevas matrices para la inmovilización de residuos
- k. Metodologías para la evaluación de la seguridad a medio y largo plazo de los almacenamientos
- l. Criterios para la gestión de fuentes radiactivas sólidas

ÁREA 6 RADIACIONES NO IONIZANTES

Campos electromagnéticos, Telefonía móvil, wi-fi, antenas, láseres, ultrasonidos, etc., Efectos biológicos y epidemiología, Metrología, Exposición del público, profesionales y pacientes, etc.

- 1. Impacto de Radiaciones No Ionizantes (RNI) ambientales en biosistemas sensibles**
 - a. Efectos de RNI ambientales en el rango DC – UV en sistemas biológicos *in vitro*, e *in vivo*
 - b. Efectos terapéuticos de RNI en el rango DC- UV
 - c. Caracterización dieléctrica de los biosistemas bajo estudio
 - d. Mecanismos biológicos y biofísicos implicados en los efectos de RNI
- 2. Metrología de RNI ambiental: exposición del público a nuevas tecnologías de radiocomunicación y sistemas de protección**
 - e. Hardware y software para dosimetría de RNI
 - f. Métodos y materiales para protección ante RNI
 - g. Metrología y dosimetría en ambientes residenciales y ocupacionales
- 3. Estudios epidemiológicos y de provocación sobre impacto ambiental de RNI**
 - h. Estudios epidemiológicos sobre poblaciones potencialmente expuestas a RNI
 - i. Estudios de provocación en personas con electrohipersensibilidad percibida
 - j. Estudios en voluntarios, expuestos a RNI ambientales
- 4. Formación y comunicación sobre bioefectos y efectos sobre la salud de RNI**

ÁREA 7 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN MEDICINA

Protección radiológica en exposiciones médicas en Diagnóstico por Imagen (Medicina Nuclear, Radiodiagnóstico y procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia) y Radioterapia. Dosimetría al paciente, análisis y procesado de la imagen médica, control de calidad del equipamiento.

- 1. Diagnóstico por imagen**
 - Radiodiagnóstico y procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia
 - a. Sistemas de registro de dosis a pacientes (Directiva 2013/59/Euratom)
 - b. Sustancias radioprotectoras de uso tópico para pacientes y trabajadores
 - c. Estimación del riesgo en: radiología intervencionista, tomografía computarizada, tomosíntesis de mama y programas de cribado
 - d. Calidad de imagen diagnóstica. Modelos observacionales y desarrollo de nuevas técnicas de obtención de imagen
 - Medicina Nuclear
 - e. Modelos observacionales para evaluación de la calidad de imagen en diagnóstico molecular
- 2. Terapia**
 - f. Simulaciones Montecarlo al impacto dosimétrico de técnicas modernas de radioterapia
 - g. Análisis de riesgos en radioterapia. Uso de matrices de riesgo
 - h. Radiosensibilidad y desarrollo de sustancias radioprotectoras
 - i. Modelos de asignación de dosis equivalente en órganos, para la estimación del riesgo de segundo cáncer, asociado al tratamiento. Implementación en sistemas de planificación como herramienta de evaluación, para la selección de la mejor estrategia de tratamiento
 - j. Optimización de aspectos dosimétricos en tratamientos metabólicos

ÁREA 8 RADIOBIOLOGÍA Y EPIDEMIOLOGÍA*Efectos de las radiaciones, Epidemiología, Radiobiología clínica***1. Estudios sobre la interacción de las radiaciones ionizantes con la materia viva**

- a. Interacción de las radiaciones ionizantes con biomoléculas y orgánulos celulares
- b. Inducción de daño en el ADN y respuesta celular. Integridad genómica
- c. Identificación y validación de biomarcadores de exposición a las radiaciones ionizantes
- d. Efectos distintos al cáncer asociados a las radiaciones ionizantes

2. Efectos de exposiciones a bajas dosis de radiaciones ionizantes

- e. Efectos biológicos de las bajas dosis de exposición en el ámbito médico
- f. Carcinogénesis radio-inducida
- g. Efecto a largo término de exposiciones crónicas a bajas dosis

3. Radiobiología clínica

- h. Biomarcadores de sensibilidad y toxicidad en pacientes de radiodiagnóstico y radioterapia
- i. Radioprotectores y mitigadores del efecto de las radiaciones ionizantes en tejido sano, y radio-sensibilizadores de tejido tumoral
- j. Efecto biológico de diferentes tipos de radiaciones utilizados en el ámbito clínico

4. Epidemiología de las radiaciones ionizantes

- k. Relación dosis-respuesta en cohortes expuestas
- l. Estudios epidemiológicos en individuos expuestos debido a la incorporación de radionucleidos
- m. Estimación del riesgo de patologías oncológicas y no oncológicas para exposiciones a radiaciones ionizantes de distinta calidad

ÁREA 9 DETECCIÓN Y MEDIDA DE LAS RADIACIONES*Dosimetría externa, Dosimetría interna, Dosimetría de neutrones, Dosimetría biológica, Dosimetrías especiales, Dosimetría computacional, Instrumentación y medida de las radiaciones, Maniqués, Calibración y metrología***1. Dosimetría:**

- Dosimetría externa
 - a. Dosimetría personal fiable y en tiempo real para trabajadores expuestos
 - b. Procedimientos mejorados para la estimación de las dosis a pacientes (radioterapia moderna, TAC, procedimientos intervencionistas) especialmente en pediatría
 - c. Procedimientos para llevar a cabo estimaciones dosimétricas eficientes en caso de emergencia radiológica
- Dosimetría interna
 - d. Nuevos modelos biocinéticos de ICRP
 - e. Comportamiento metabólico (biocinética) de los radionucleidos utilizados en medicina
- Dosimetría biológica
 - f. Nuevos biomarcadores cuantitativos de las radiaciones ionizantes
 - g. Capacidad de análisis (automatización, redes, análisis on-line)
 - h. Conocimiento de las correlaciones espaciales de la interacción de la radiación con la materia biológica

2. Instrumentación:

- i. Sistemas de detección y medida de las radiaciones para una mejora en la protección radiológica de trabajadores y del público
- j. Detectores asociados al procesamiento de imagen médica
- k. Detectores para la medida de la radiación neutrónica

3. Metrología:

- l. Nuevas infraestructuras para asegurar una buena trazabilidad y armonización en las medidas dosimétricas
- m. Redes de laboratorios de dosimetría, armonización de protocolos y organización de intercomparaciones

ÁREA 10 EDUCACIÓN, FORMACIÓN Y ASPECTOS SOCIALES

Formación Posgrado y Especialización. Percepción social del riesgo, Cultura de Protección Radiológica, Implicación de las partes interesadas, Comunicación del riesgo radiológico, Ética profesional y Deontología, etc.

1. Formación de post-grado y especialización:

- a. Currícula en PR, en máster y nuevas titulaciones, para asegurar una formación adecuada y armonizada a nivel internacional que incorpore las nuevas tecnologías y necesidades
- b. Programas de ayuda para incorporación de personal investigador pre-doctoral o post-doctoral
- c. Programas de gestión del conocimiento para profesionales con funciones en el marco de las radiaciones ionizantes

2. Comunicación del riesgo radiológico:

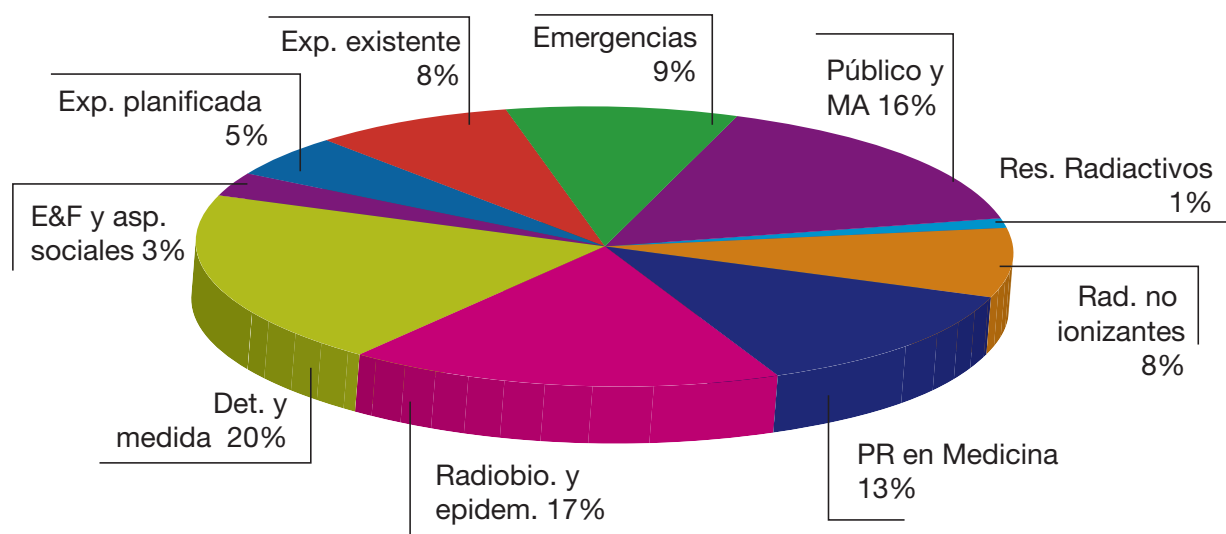
- d. Técnicas/vías de comunicación (uso de los medios y redes sociales) para la ayuda de los especialistas en protección radiológica, en comunicar a los periodistas, a los responsables políticos y al público en general sobre los riesgos de las radiaciones ionizantes, en particular en situaciones de emergencia
- e. Participación de las partes interesadas en la preparación local y estrategias de comunicación en situaciones existentes. Definición de las dimensiones éticas del sistema de protección radiológica
- f. Difusión de la cultura de protección radiológica

4. DESCRIPCIÓN DE PROGRAMAS DE I+D EN PR EN CURSO

En este apartado se presenta una recopilación de las líneas que cubren los proyectos de I+D actualmente en curso y los agentes implicados en su desarrollo. Esta información está basada en las respuestas de los miembros de PEPRI al cuestionario sobre el tema lanzado en 2014, que incluía información sobre el periodo 2009-2014.

A nivel de cifras globales y basado en la información recopilada en el citado cuestionario (*figura 4.1*), en este periodo en España se han dedicado a la I+D en PR unos 10,5 M€ anuales, con la siguiente distribución por Áreas temáticas:

Figura 4.1 Distribución de recursos dedicados a I+D en PR por Área Temática



4.1. Líneas de trabajo actuales por áreas temáticas

ÁREA TEMÁTICA 1. Protección radiológica en situaciones de exposición planificada

En el periodo 2009-2014 ha representado el 5% de los recursos dedicados a la I+D en PR (0,52 M€/año), la mayor parte de ellos (87%) de financiación externa a los propios centros de I+D. No se ha participado en proyectos europeos en este área, pero el Sector nuclear participa en el Programa de I+D nuclear del *Electric Power Research Institute* (EPRI) de Estados Unidos, que tiene un importante componente de I+D sobre Protección Radiológica.

Las líneas de trabajo actualmente en desarrollo son:

Línea		Peso	Investigadores	Promotores/Financiadores
1.1	Metodologías gestión del riesgo y criterio ALARA	31%	- U. País Vasco - U. Rovira i Virgili - EPRI - Tecnatom - U.P. Cataluña - U.C. Madrid - H. San Carlos - H. Hospital La Fe	- CSN - Plan Nacional de I+D - UNESA - Programa Marco UE - Autofinanciación
1.2	Sistemas de control y PR	20%	- U.P. Valencia - ARRAELA - SEA Ingeniería - U.P. Cataluña - H. C. San Carlos	- Iberdrola Gen - Xunta de Galicia - CSN - ENRESA - Autofinanciación
1.3	PR en nuevas practicas	48%	- C.Láseres Pulsados	- Plan Nacional de I+D - Fundaciones

ÁREA TEMÁTICA 2. Protección radiológica en situaciones de exposición existente

En el periodo 2009-2014 ha representado el 8% de la recursos dedicados a la I+D en PR (0,84 M€/año), una parte importante (77%) de financiación externa a los propios centros de I+D. Se ha participado en un proyecto europeo sobre medidas para reducir el riesgo a la exposición al radón en zonas de minería de uranio, que ha representado el 23% de los recursos en esta área.

Las líneas de trabajo actualmente en desarrollo son:

Línea		Peso	Investigadores	Promotores/Financiadores
2.1	Métodos y técnicas de caracterización radiológica	26%	- U. Cantabria - U. Sevilla - U. A. Barcelona - U. Palmas de GC - U. Málaga	- CSN - ENUSA - Otras entidades privadas - Autofinanciación
2.2	Técnicas y metodologías para la gestión de la exposición existente	17%	- U. Cantabria - U. Islas Baleares - U. L Laguna - U. Palmas de GC	- CSN - Autofinanciación
2.3	Sistemas y técnicas reducción del impacto radiológico	53%	- CIEMAT - U. Cantabria - LARUEX - U. Extremadura	- Programa Marco UE - CSN - ENRESA - Plan Nacional de I+D - Otras entidades privadas - CIEMAT - Autofinanciación
2.4	Métodos evaluación impacto radiológico	4%	- U. Cantabria - LARUEX - U. Extremadura - U. A. Barcelona	- CSN - Plan Nacional de I+D - Junta Extremadura

Como se puede observar existe un colectivo significativo de Universidades españolas, entre las que destaca la Universidad de Cantabria, que junto con CIEMAT trabajan en este campo.

ÁREA TEMÁTICA 3. Protección radiológica en situaciones de exposición en emergencias y seguridad física de fuentes

En el periodo 2009-2014 ha representado el 9% de la recursos dedicados a la I+D en PR (0,94 M€/año), con un bajo peso de la financiación externa (29%), motivada por el peso del CIEMAT en esta área y la amplia participación en proyectos europeos en este área. Se han participado en 7 proyectos europeos, relacionados con las iniciativas NERIS, PREPARE y RENEb, entre otras.

Las líneas de trabajo actualmente en desarrollo son:

Línea	Peso	Investigadores	Promotores/Financiadores
3.1	15%	- U. P. Madrid - U. P. Vasco - LARUEX - U. Extremadura - GNF Engineering - Tecnatom	- Programa Marco UE - UNESA - Autofinanciación
3.2	20%	- H Gregorio Marañón - U. A. Barcelona - U. P. Vasco - U. P. Madrid	- Programa Marco UE - CSN - Gobierno vasco - Autofinanciación
3.3	56%	- CIEMAT - Tecnatom - GDES - U. P. Madrid	- Plan Nacional de I+D - Programa Marco UE - Autofinanciación
3.4	6%	- CIEMAT - U. P. Madrid	- Programa Marco UE - Autofinanciación
3.5	0%	- U. P. Madrid	- Programa Marco UE
3.6	6%	- U. P. Madrid	- CSN - ENRESA - Autofinanciación

Entre los centros de I+D que trabajan en este área destaca CIEMAT (41%), el Hospital Gregorio Marañón (16%), que es centro nivel 2 para el tratamiento de irradiados y contaminados, así como la U. Extremadura (LARUEX) (12%), Tecnatom (11%) y GDES (8%).

ÁREA TEMÁTICA 4. Protección radiológica del público y del medio ambiente

En el periodo 2009-2014 ha representado el 16% de la recursos dedicados a la I+D en PR (1,72 M€/año), con financiación externa inferior a la media (56%), también por el peso del CIEMAT en el área. Se ha participado en cinco proyectos europeos: dos relacionados con Plataformas o redes europeas sobre la temática, uno sobre búsquedas bibliográficas, uno sobre técnicas de análisis radioquímico y otro sobre transmisión de señales en una red de vigilancia. El Sector nuclear participa en el Programa de I+D nuclear del *Electric Power Research Institute* (EPRI) de Estados Unidos.

Las líneas de trabajo actualmente en desarrollo son:

Línea		Peso	Investigadores	Promotores/Financiadores
4.1	Radiactividad ambiental	62%	- CIEMAT - U. Barcelona - U. P. Cataluña - U. Barcelona - CEDEX - LARUEX - U. Extremadura - U. Rovira i Virgili - U. País Vasco - U. Salamanca - U. Sevilla - U. Islas Baleares - U. Cantabria	- CSN - Plan Nacional de I+D - Autofinanciación - Programa Marco UE - CEDEX - ENRESA - J. Extremadura - Gobierno Vasco - Otras entidades privadas
4.2	Radioecología	29%	- CIEMAT - U. A. Barcelona - U. Rovira i Virgili	- CSN - ENRESA - Plan Nacional de I+D - Programa Marco UE - Autofinanciación
4.3	Impacto radiológico ambiental	9%	- CIEMAT - U. A. Barcelona - U. P. Cataluña - U. Barcelona - EPRI - U. Málaga - U. P. Madrid	- Plan Nacional de I+D - Programa Marco UE - Otras entidades privadas - Autofinanciación - UNESA

En este Área destaca el CIEMAT (58%) y un colectivo significativo de Universidades españolas que trabajan en este campo.

ÁREA TEMÁTICA 5. Gestión de residuos radiactivos

En el periodo 2009-2014 ha representado el 1% de la recursos dedicados a la I+D en PR (0,12 M€/año), con una parte significativa de financiación externa (91%).

Las líneas de trabajo actualmente en desarrollo son:

Línea		Peso	Investigadores	Promotores/Financiadores
5.1	Minimización de residuos	32%	- GNF Engineering - U. Cantabria - EPRI	- ENRESA - UNESA - Plan Nacional de I+D
5.2	Caracterización de residuos	59%	- GNF Engineering - U. Sevilla - CIEMAT	- ENRESA - J. Andalucía - Autofinanciación
5.3	Almacenamiento de bultos de residuos	9%	- U. País Vasco	- ENRESA - Autofinanciación

Las entidades identificadas que desarrollan actividades de I+D en este Área: *GNF Engineering* (31%), *CIEMAT* (21%), Universidades (33%) y *EPRI* (15%).

ÁREA TEMÁTICA 6. Radiaciones no ionizantes

En el periodo 2009-2014 ha representado el 8% de la recursos dedicados a la I+D en PR (0,80 M€/año), con un grado alto de financiación externa del 84%.

Las líneas de trabajo actualmente en desarrollo son:

Línea		Peso	Investigadores	Promotores/Financiadores
6.1	Impacto de radiaciones no ionizantes ambientales	45%	- CREAL - IRYCIS - U. P. Valencia - IS Carlos III	- Programa Marco UE - Plan Nacional del+D - FIS - Otras entidades privadas - Autofinanciación
6.2	Metrología de exposición del público	2%	- IS Carlos III - IRYCIS - U. Canarias	- IS Carlos III - FIS
6.3	Estudios epidemiológicos	50%	- CREAL - IRYCIS - IS Carlos III	- Programa Marco UE - FIS
6.4	Formación y comunicación sobre bioefectos	3%	- CREAL	- IS Carlos III

Las entidades identificadas que desarrollan actividades de I+D en esta área son el *CREAL* (79%), el *IRYCIS* (14%), el *IS Carlos III* (7%) y en menor medida algunas universidades.

ÁREA TEMÁTICA 7. Protección Radiológica en Medicina

En el periodo 2009-2014 ha representado el 13% de la recursos dedicados a la I+D en PR (1,38 M€/año), la mayor parte de ellos (76%) de financiación externa a los propios centros de I+D.

Las líneas de trabajo actualmente en desarrollo son:

Línea		Peso	Investigadores	Promotores/Financiadores
7.1	Diagnostico por imagen	66%	<ul style="list-style-type: none"> - UC. Madrid - CREAL - HC. San Carlos - H. Hospital La Fe - H. La Paz - U. Castilla-La Mancha - U. P. Cataluña - UA. Barcelona - U. Málaga - GDES 	<ul style="list-style-type: none"> - Programa Marco UE - Plan Nacional del+D - IS Carlos III - CSN - Autofinanciación
7.2	Terapia	34%	<ul style="list-style-type: none"> - H. S Creu y S Pau - H. 12 Octubre - H. C. San Carlos - U. Sevilla - U. A. Barcelona - U. P. Cataluña - U. Rovira i Virgili - C. Láseres Pulsados 	<ul style="list-style-type: none"> - Programa Marco UE - Plan Nacional del+D - CSN - Ent. autonómicas y locales - Autofinanciación - C. Andalucía - G Cataluña - Asociaciones privadas

Los investigadores de este Área son principalmente Universidades (72%, destacando la U. Complutense de Madrid y U. Sevilla), el CREAL (14%) y Hospitales.

ÁREA TEMÁTICA 8. Radiobiología y epidemiología

En el periodo 2009-2014 ha representado el 17% de la recursos dedicados a la I+D en PR (1,78 M€/año), con un nivel de autofinanciación relativamente alto (48%), debido al peso de la participación en proyectos europeos.

Las líneas de trabajo actualmente en desarrollo son:

Línea		Peso	Investigadores	Promotores/Financiadores
8.1	Estudios sobre la interacción de las radiaciones con la materia viva	57%	- U. A. Barcelona - U. A. Madrid - ALBA - IS Carlos II - CREAL	- Programa Marco UE - IS Carlos II - CSN - Plan Nacional de I+D - Autofinanciación
8.2	Efectos de exposiciones a bajas dosis	10%	- CREAL - U. Rovira i Virgili	- Programa Marco UE - Autofinanciación
8.3	Radiobiología clínica	9%	- H. Hospital La Fe - U. A. Madrid - U. P. Valencia	- Programa Marco UE - Autofinanciación
8.4	Epidemiología de las radiaciones ionizantes	9%	- CREAL - S. Gallego de Salud - U. A. Barcelona - U. Rovira i Virgili	- Programa Marco UE - CSN - Autofinanciación

Los investigadores de estos proyectos pertenecen a centros/institutos de investigación (59%), universidades (36%) y hospitales (4%). Entre ellos destaca el CREAL (34% de los recursos).

ÁREA TEMÁTICA 9. Detección y medida de las radiaciones: metrología y dosimetría

En el periodo 2009-2014 ha representado el 20% de la recursos dedicados a la I+D en PR (2,05 M€/año), un 42% de financiación externa a los propios centros de I+D.

Las líneas de trabajo actualmente en desarrollo son:

Línea		Peso	Investigadores	Promotores/Financiadores
9.1	Dosimetría	63%	- CIEMAT - H. Hospital La Fe - U. Murcia - U. A. Barcelona - S. Gallego Salud - Tecnatom	- Plan Nacional de I+D - Programa Marco UE - IAEA - UNESA - Autofinanciación - CSN
9.2	Instrumentación	19%	- Tecnatom - CEDEX - GDES - U. Sevilla - U. Islas Baleares - CIEMAT - U. A. Barcelona - U. P. Valencia - Helgeson - U. C. Madrid - U. P. Madrid	- Programa Marco UE - Plan Nacional de I+D - Otras entidades privadas - CSN - IAEA - CEDEX - UNESA
9.3	Metrología	18%	- CIEMAT - U. P. Madrid	- CSN

En esta área destaca CIEMAT (67%), participando también grupos universitarios como la Universidad Autónoma de Barcelona (9,8%), la Universidad Politécnica de Madrid (9%) y la Universidad de Sevilla (4,5%).

ÁREA TEMÁTICA 10. Educación, Formación y aspectos sociales

En el periodo 2009-2014 ha representado el 3% de la recursos dedicados a la I+D en PR (0,31 M€/año), la mayor parte de ellos (88%) de financiación externa (principalmente la Unión Europea) y autofinanciación.

Las líneas de trabajo actualmente en desarrollo son:

Línea		Peso	Investigadores	Promotores/Financiadores
10.1	Formación	98%	- H. C San Carlos - U. C. Madrid - U. P. Cataluña - U. Barcelona - CIEMAT - U. P. Valencia - U. Murcia	- Programa Marco UE - Autofinanciación - IAEA - Cuotas cursos
10.2	Comunicación	2%	- U. Cantabria	- CSN - Autofinanciación

Existe un colectivo significativo de Universidades españolas que, junto con CIEMAT y HC San Carlos, trabajan en este campo.

Destaca en esta área la buena posición, a nivel europeo, de los grupos del ámbito de la física médica y la protección radiológica en las aplicaciones sanitarias. En este campo, la Universidad Complutense de Madrid es coordinadora del consorcio del proyecto europeo EC Tender nº TREN/H4/167-2009 “*Guidelines on Medical Physics Expert*” y dos grupos españoles, el Hospital Clínico San Carlos de Madrid y la Universidad Politécnica de Cataluña, participan en el proyecto “*European Training and Education for Medical Physics Experts in Radiology (EUTEMPE-RX)*”. Así mismo, el CIEMAT participa en el proyecto europeo “*European Network on Education and Training in Radiological Protection, ENETRAP III (2014-2018)*”. Dicho proyecto es una continuación de dos proyectos anteriores en el marco de la red europea sobre educación y formación en Protección Radiológica, ENETRAP, de la cual CIEMAT es miembro fundador.

4.2. Principales actores de la I+D en PR

En cuanto a los agentes de la I+D en España, genéricamente, pueden distinguirse dos tipos:

- **Investigadores:** Son aquellas entidades que llevan a cabo los proyectos de investigación. Entre éstos cabe diferenciar tres colectivos básicos: la Universidad, los Centros de I+D específicos, y las entidades usuarias de la tecnología, que a veces desarrollan sus propios proyectos de I+D: hospitales, empresas, etc.
- **Promotores:** Los que promueven y financian proyectos de investigación y usan sus resultados. Entre éstos, se encuentran, de forma destacada: las autoridades nacionales, algunos centros de investigación específicos, y algunas empresas o grupos.

4.2.1. Investigadores

En la *tabla 4.1* se muestran las entidades de I+D con las Áreas temáticas en las que han trabajado en este periodo y el peso relativo de cada una de estas. En la *figura 4.2* se muestran las entidades de I+D clasificadas según los recursos totales (fondos propios y externos) que dedica a esta actividad (valorados en M€).

Se puede observar el significativo papel del CIEMAT, con un presupuesto de I+D en PR que representa el 30% de los recursos dedicados a esta actividad y un alto grado de autofinanciación (70%), siendo líder en emergencias (Área 3), PR del público y medio ambiente (Área 4), Detección y medida de las radiaciones (Área 9) y Educación, formación y aspectos sociales (Área 10). Así mismo, el CREAL con un presupuesto de I+D en PR que representa el 14% de los recursos y una autofinanciación del 40% y es líder en Radiaciones no ionizantes (área 6) y Radiobiología y epidemiología (Área 8). Finalmente la Universidad Autónoma de Barcelona, con un presupuesto de I+D en PR que representa el 6% de los recursos y que trabaja en 6 de las 10 Áreas temáticas y la Universidad Complutense de Madrid, con un presupuesto de I+D en PR que representa el 5% de los recursos y es líder en PR en medicina (Área 7).

4.2.2. Promotores de la I+D

En la *tabla 4.2* se muestran estas entidades con las Áreas temáticas en las que han actuado y en la *figura 4.3* se muestran las entidades que han promovido y financiado actividades de I+D en PR, clasificadas según los recursos que han aportado (valorados en M€).

Tabla 4.1 Distribución de entidades de I+D por Áreas Temáticas

Entidad	ÁREA TEMÁTICA										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
• H Santa Creu y San Pau							1%				0%
• HC San Carlos	6%						1%			3%	1%
• Hospital G. Marañon			16%								0%
• Hospital La Fe	0%						2%	0%	0%		0%
• Hospital La Paz							1%				1%
• Hospital 12 de Octubre							7%				1%
• S. Gallego de Salud								4%	3%		3%
• ALBA								20%			3%
• C. L. Pulsados	48%						3%				3%
• CARLOS III						7%		5%			1%
• CEDEX				2%					0%		0%
• CIEMAT		18%	41%	58%	21%				67%	72%	30%
• CREAL						79%	14%	34%			14%
• EPRI	6%			2%	15%						1%
• IRYCIS						14%					1%
• U. Barcelona				7%						0%	1%
• U. Canarias						0%					0%
• U. Cantabria		49%		2%	5%					2%	4%
• U. Castilla-La Mancha							1%				0%
• U.Extrem.- LARUEX		4%	12%	8%							3%
• U. Islas Baleares		0%		3%					0%		0%
• U. Laguna		3%									0%
• U. País Vasco	5%		1%	3%	9%						1%
• U. Salamanca				1%							0%
• U. Sevilla		1%		2%	20%		16%		5%		4%
• U. Murcia									0%	1%	0%
• U.A. Barcelona		7%	3%	4%			9%	8%	10%		6%
• U.A. Madrid								20%			3%
• UC. Madrid	3%						33%		2%	13%	5%
• U. Málaga		9%		1%			6%				2%
• U.P. Cataluña	17%			3%			7%			6%	2%
• U.P. Madrid			7%	2%					9%		3%

Tabla 4.1 Distribución de entidades de I+D por Áreas Temáticas. *Continuación*

Entidad	ÁREA TEMÁTICA										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
• U.P. Valencia	1%					0%	1%	1%	1%	2%	1%
• U. Palmas GC		9%									1%
• U. Rovira i Virgili	5%			2%				8%			2%
• GDES TITANIA			8%				1%		1%		1%
• GNF Eng			1%		31%						0%
• SEA Ing.	6%										0%
• Tecnatom	1%		12%						2%		1%
• ARRAELA	4%										0%
• Helgeson SS									0%		0%
TOTAL	5%	8%	9%	16%	1%	8%	13%	17%	20%	3%	100%

Tabla 4.2 Distribución de promotores por Áreas Temáticas

PROMOTOR	ÁREA TEMÁTICA										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
• Autofinanciación	13%	23%	71%	15%	11%	17%	26%	12%	58%	12%	41%
• Programa Marco UE	5%	30%	16%	11%		69%	32%	32%	11%	31%	23%
• CSN	18%	38%	7%	44%			29%	49%	10%	2%	16%
• Plan Nacional de I+D	52%	4%	3%	17%	5%	4%	10%	7%	4%	1%	9%
• Otros	1%	3%	0%	5%		10%	1%	0%	15%	42%	8%
• Industria y Energía	9%	2%	3%	5%	77%				2%	12%	3%
• Adminis. Aut. o local	2%	0%	0%	3%	7%		2%				1%
TOTAL	5%	8%	9%	16%	1%	8%	13%	17%	20%	3%	100%

Áreas Temáticas

1. PR en situaciones de exposición planificada
2. PR en situaciones de exposición existente
3. PR en situaciones de exposición en emergencias
4. PR del público y del medio ambiente

5. Gestión de residuos radiactivos
6. Radiaciones no ionizantes
7. PR en medicina
8. Radiobiología y epidemiología
9. Detección y medida de las radiaciones
10. Educación, formación y aspectos sociales

Figura 4.2 Distribución de entidades de I+D por recursos dedicados



Figura 4.3 Distribución de entidades de I+D por recursos aportados



4.2.3. Principales infraestructuras de I+D

En este apartado se resumen las principales infraestructuras disponibles en España para actividades de I+D en protección radiológica, basada en la información suministrada por 31 miembros de PEPRI.

Por su tradición y número de instalaciones, debe destacarse en primer lugar el CIEMAT, organismo público español de investigación, que dispone de nueve laboratorios que cubren las áreas temáticas de protección radiológica del medio ambiente y del público, dosimetría personal y ambiental, cálculo numérico en dosimetría y metrología de las radiaciones.

Junto al CIEMAT, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, el Servicio de Protección Radiológica del Instituto Carlos III, un número importante de universidades y algunas empresas de servicios también disponen de instalaciones del área de la protección radiológica ambiental y del medio ambiente. En la *tabla 4.3* se muestra de manera simplificada las instalaciones de estos centros en el área de protección radiológica ambiental y del medio ambiente, sin entrar en detalle sobre las características técnicas específicas ni sobre el número de equipos disponibles.

Entre las Universidades pueden destacarse la U. Autónoma de Barcelona, U. de Barcelona, U. de Cantabria, U. de Extremadura, U. de las Islas Baleares, U. de la Laguna, U. del País Vasco, U. Politécnica de Cataluña, U. Politécnica de Madrid, U. Politécnica de Valencia, U. Rovira Virgili, U. de Salamanca, U. de Sevilla, U. de Valencia, U. De Málaga y U. de Zaragoza. En general, estos centros disponen de Laboratorios de radioquímica y de medida de radiactividad y en muchos casos también de equipamiento para llevar a cabo estudios sobre situaciones de exposiciones existentes. En particular, varios centros disponen de equipos de medida y de instalaciones para estudios relacionados con la medida del radón o con las industrias NORM. En algunos casos estas instalaciones se completan con redes de estaciones automáticas de control radiológico atmosférico o redes de alerta temprana.

Los principales programas de cálculo utilizados en el área de radiactividad ambiental son *ISOCS*, *Apex*, *GammaVision* y *GENIE* para el análisis de espectros gamma, y *Maestro* para el análisis de espectros alfa, así como programas específicos de desarrollo propio.

En el área de la protección radiológica en medicina, las principales instalaciones disponibles para la I+D se encuentran en centros hospitalarios públicos o privados que compaginan su actividad asistencial con actividades de desarrollo y colaboran con diversas Universidades, como la U. Complutense de Madrid, la U. Politécnica de Valencia, U. De Málaga o la U. Politécnica de Catalunya. También disponen de instalaciones propias el Hospital U. la Princesa de Madrid, Hospital Santa Creu i Sant Pau de Barcelona, Hospital Clínico San Carlos de Madrid, Hospital la Fe Valencia, el Hospital Universitario Gregorio Marañón y Hospital Materno Infantil de La Coruña-INIBIC.

Tabla 4.3 Resumen de instalaciones en el Area de Protección Radiológica Ambiental

ENTIDAD	Medidas Radiactividad	Espectroscopia de plasma ICP-MS	Carbono-14	Radón	TLD ambiental	Red. Radio-meteorológica	Unidad móvil
CEDEX	X			X			
CIEMAT	X	X			X	X	X
IS CARLOS III	X	X		X	X		
U Autónoma Barcelona	X			X			
U Barcelona	X	X	X				
U Cantabria	X			X			
U Extremadura -LARUEX	X					X	X
U Islas Baleares	X						
U La Laguna	X			X			
U País Vasco	X	X				X	
UP Cataluña	X			X	X	X	
UP Madrid	X						
UP Valencia	X			X	X		
U Rovira Virgili	X					X	
U Salamanca	X		X				
U Sevilla/CNA	X	X	X				
U Valencia	X			X			
U. Zaragoza	X				X		
U. Málaga	X			X	X	X	
GDES TITANIA				X			
Tecnatom							X

El Centro Nacional de Aceleradores (CN) es un centro mixto de la Universidad de Sevilla, Junta de Andalucía y CSIC, dedicado a la investigación interdisciplinar que dispone de 3 aceleradores de iones: un Tándem Van de Graaff de 3 MV, un Ciclotrón que proporciona protones de 18 MeV y deuterones de 9 MeV y un acelerador tipo Tándem Cockcroft-Walton de 1 MV, utilizado como espectrómetro de masas. También dispone del sistema de datación por radiocarbono MiCaDaS, un Irradiador de ^{60}Co y un escáner PET/CT. Estos últimos equipos se utilizan en experimentación con animales y también con fines asistenciales.

En el área temática de radiobiología podemos destacar los laboratorios de dosimetría biológica del Hospital Gregorio Marañón, Hospital de la Fe y U. Autónoma de Barcelona que disponen de microscopios ópticos de alta resolución y de programas de cálculo para la estimación de la dosis como *Cabas* y *DoseEstimate*. En estos centros y en el INIBIC se disponen de salas de cultivos celulares con campanas de seguridad biológica y equipamiento auxiliar asociado, así como animalario para llevar a cabo estudios de radiobiología y genómica. En el Centro CREAL disponen de diversos laboratorios y una sala de seguridad biológica para estudios celulares aplicando técnicas radioisotópicas. Se dispone de diversos programas para la detección automática y recuento de anomalías cromosómicas y de tratamiento de imagen acoplados a microscopios: *Genus* (AppliedImaging), *Isis*, *Metafer MSearch* y *DCScore* (Metacyte) y *CytoVision*.

En el ámbito de las radiaciones no ionizantes (RNI), pueden distinguirse los grupos que trabajan en estudios epidemiológicos que no requieren grandes infraestructuras y los centros que llevan a cabo estudios experimentales. En este segundo grupo podemos destacar el grupo del IRYCIS que dispone de Laboratorios de metrología de radiaciones no ionizantes, laboratorio de cultivos y análisis de respuesta celular, de exposición *in vitro* y de animalario dotado de sala anecoica para exposición a RNI. Así mismo, el Instituto Carlos III dispone de un laboratorio para estudios de compatibilidad electromagnética.

En el ámbito de la dosimetría, además de las instalaciones reseñadas del CIEMAT, puede destacarse el Laboratorio de estudios de neutrones de la U. Politécnica de Madrid, los Laboratorios de metrología en niveles de protección radiológica y de diagnóstico del Centro Nacional de Dosimetría y de la U. Politécnica de Cataluña, y los sistemas de espectrometría Bonner disponibles en la U. Autónoma de Barcelona y U. Politécnica de Madrid. En el campo de los equipos de control de transportes, la U. Politécnica de Madrid cuenta con un laboratorio único de ensayo de detectores para pórticos.

Otra instalación singular es el Centro Láser de Salamanca que dispone de aceleradores “láser-plasma” generados a partir de un láser de alta intensidad. Dicho sistema tiene como característica exclusiva la posibilidad de emisión de partículas en pulsos extremadamente cortos y el ensayo de sistemas de detección en dichos campos de radiación.

En relación a las empresas que llevan a cabo actividades de I+D en Protección radiológica, ARRAELA, S.L. dispone de un laboratorio para desarrollo de materiales para blindajes. Otras como GNF Engineering, SEA Ingeniería y análisis de Blindajes SL y TITANIA-GDES disponen principalmente de equipamiento para la caracterización radiológica y llevan a cabo proyectos de ingeniería y cálculo.

Numerosos grupos de las universidades españolas y también de los centros de investigación y empresas de ingeniería disponen de gran experiencia en el uso de programas de simulación Monte Carlo del transporte de la radiación que se aplican a áreas temáticas muy diversas: situaciones de emergencia, dosimetría, diseño de blindajes, etc. Entre los programas más utilizados se destaca: *MCNPx*, *PENELOPE*, *GEANT 4*.

El equipo humano que participa en I+D en PR en las 33 entidades que han contestado al cuestionario es de 282 investigadores y unos 90 investigadores en formación, aunque la dimensión de los grupos es muy variable.

5. RESULTADOS DE LA I+D

Los resultados de estas actividades de I+D han dado resultados científicos que se han plasmado en más de 1.100 publicaciones reportadas por los diferentes actores de la I+D mencionados en este documento, lo que corresponde a una media de más de 180 publicaciones anuales. La distribución de estas publicaciones por Área temática se muestra en la *tabla 5.1*.

Tabla 5.1 Distribución de la publicaciones realizadas en el periodo 2009-2014 por Area Temática

ÁREA TEMÁTICA		PUBLICACIONES
9	Detección y medida de las radiaciones: metrología y dosimetría	30%
4	Protección radiológica del público y del medio ambiente	14%
7	Protección Radiológica en Medicina	14%
8	Radiobiología y epidemiología	7%
3	Situaciones de exposición en emergencias	7%
2	Situaciones de exposición existente	7%
10	Educación, formación y aspectos sociales	4%
6	Radiaciones no ionizantes	4%
5	Gestión de residuos radiactivos	3%
1	Protección radiológica en situaciones de exposición planificada	2%

Así mismo se han registrado 5 patentes correspondientes a diseños de materiales de blindaje (Área temática 1) y se han identificado otros productos tales como programas de ordenador, cursos, etc. derivados de esta actividad.

Tal vez un aspecto a considerar como característica de la I+D en PR a partir de los datos recopilados es que faltan en este Sector aplicadores de la tecnología, capaces de convertir el conocimiento científico adquirido en productos utilizables. Este sería un aspecto a promover en el futuro.

ANEXOS

ANEXO A. ENTIDADES QUE HAN RESPONDIDO AL CUESTIONARIO SOBRE LAS ACTIVIDADES DE I+D EN PR EN EL PERIODO 2009-2014

Hospital Clínico San Carlos Madrid	- Servicio de Física Medica
IIS-IP Hospital Universitario La Princesa Madrid	- Instituto de Investigación Sanitaria Hospital Universitario La Princesa
Hospital Universitario y Politécnico La Fe Valencia	- Servicio de Protección Radiológica
Hospital materno infantil de La Coruña	- Instituto de Investigación Biomédica A Coruña y Centro Oncológico de Galicia
Hospital General Universitario Gregorio Marañón Madrid	- Centro de Radiopatología. - Laboratorio de Dosimetría Biológica
Hospital Universitario de Asturias	
Hospital Santa Creu i Sant Pau	- Servicio de Radiofísica y Radioprotección
CIEMAT	- Departamento de Medio Ambiente
Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental (CREAL)	
Instituto de Salud Carlos III	- Centro Nacional de Sanidad Ambiental
Instituto Ramón y Cajal de investigación Sanitaria (IRYCIS)	
Universidad de Sevilla	- Centro Nacional de Aceleradores
Universidad de Sevilla	- Dpto. Fisiología Medica y Biofísica
Universidad del País Vasco	- Departamento de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos
Universidad Autónoma de Barcelona	- Unidad de Biología Celular/Departamento de Física
Universidad de Barcelona	- Departamento de Química Analítica
CEDEX	
Universidad Politécnica de Cataluña	- Instituto de Técnicas Energéticas
Universidad Politécnica de Madrid	- Laboratorio de Tecnología Nuclear del Dpto. de Ing. Energética - E.T.S.I. Industriales - Laboratorio de Ingeniería Nuclear del Dpto. de Ing. Civil: Hidráulica, Energía y Medio Ambiente - E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Valencia	- Dpto. Ingeniería Química y Nuclear/Servicio de Radiaciones
Universidad de Zaragoza	- Laboratorio de bajas actividades (LABAC)
Universidad Autónoma de Madrid	- Centro Biología Molecular Severo Ochoa
Universidad de Extremadura	- Laboratorio de radiactividad ambiental (LARUEX)

ANEXO A. ENTIDADES QUE HAN RESPONDIDO AL CUESTIONARIO SOBRE LAS ACTIVIDADES DE I+D EN PR EN EL PERIODO 2009-2014. *Continuación*

Universidad de las Islas Baleares	- Laboratorio de radiactividad ambiental
Universidad Rovira i Virgili de Tarragona	- Laboratorio de Toxicología y Salud Ambiental
Universidad de Cantabria	- Laboratorio de Radiactividad Natural
Universidad de Valencia	- Laboratorio de Radiactividad Natural
Universidad Complutense de Madrid	- Facultad de Medicina, Departamento de Radiología
Centro de Láseres pulsados Salamanca	
Universidad de Málaga	- Facultad de Medicina; Servicio de Instalación Radiactiva; SCAI
UNESA	- Comisión de Protección Radiológica y Residuos de las centrales nucleares españolas
ENRESA	
Gas Natural Fenosa Engineering	
TECNATOM, SA	
TITANIA-GDES	
PROINSA	
SEA Ingeniería y análisis de Blindajes SL	
ARRAELA, SL	
CSN	

Total 39 entidades

ANEXO B. ENTIDADES QUE HAN RESPONDIDO AL CUESTIONARIO SOBRE LAS INFRAESTRUCTURAS DE I+D EN PR

IIS-IP Hospital Universidad La Princesa
Hospital Santa Creu i Sant Pau
Hospital mat. Inf. La Coruña-INIBIC
Hospital G Univ G Marañón
Hospital Clínico San Carlos
Hospital Universidad y Politécnico La Fe
IRYCIS
Instituto de Salud Carlos III
CIEMAT
CEDEX
Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental (CREAL)
Universidad Autónoma Barcelona
Universidad Complutense de Madrid
Universidad de Barcelona
Universidad de Cantabria
Universidad de Sevilla
Universidad Politécnica de Madrid
Universidad del País Vasco
Universidad Politécnica de Cataluña
Universidad Politécnica de Valencia
Universidad de Extremadura
Universidad de las Islas Baleares
Universidad de Salamanca
Universidad de Valencia
Universidad de Zaragoza
Universidad Rovira y Virgili*
Universidad de la Laguna*
Universidad de Málaga
Centro Nacional de Dosimetría
Centro Nacional de Aceleradores
Centro de Láseres pulsados Salamanca
TECNATOM, SA*
ARRAELA, SL
GNF Engineering
SEA Ingeniería y análisis de Blindajes SL
TITANIA-GDES

Total 36 entidades

*Información obtenida de sus páginas web

