

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

RESEARCH AND DEVELOPMENT IN RADIOLOGICAL PROTECTION

José Luis Butragueño. Jefe de la Oficina de Investigación y Desarrollo, CSN / Head of the Research and Development Office, CSN.

Carlos Villota. Director de Energía Nuclear, UNESA / Director of Nuclear Energy, UNESA.

José Gutiérrez. Subdirector Departamento de Impacto Ambiental de la Energía, CIEMAT / Deputy Director of the Energy Environmental Impact Department, CIEMAT.

Álvaro Rodríguez. Director de Investigación y Tecnología, ENRESA / Director of Research and Technology, ENRESA.

The objective of Radiological Protection is to guarantee that neither people, be they workers or members of the public, or the environment are exposed to radiological risks considered by society to be unacceptable. Among the various resources available to meet this objective is Research and Development (R&D), which is carried out in three areas:

I. Radiological protection of persons: (a) knowledge of the biological effects of radiations, in order to determine the relationship that exists between radiation exposure dose and its effects on health; (b) the development of new personal dosimetry techniques in order to adapt to new situations, instrumental techniques and information management technologies allowing for better assessment of exposure dose; and (c) development of the principle of radiological protection optimisation (ALARA), which has been set up internationally as the fundamental principle on which radiological protection interventions are based.

II. Assessment of environmental radiological impact, the objective of which is to assess the nature and magnitude of situations of exposure to ionising radiations as a result of the controlled or uncontrolled release of radioactive material to the environment, and

III. Reduction of the radiological impact of radioactive wastes, the objective of which is to develop radioactive material and waste management techniques suitable for each situation, in order to reduce the risks associated with their definitive management or their release to the environment.

Briefly described below are the strategic lines of R&D of the CSN, the Electricity Industry, CIEMAT and ENRESA in the aforementioned areas.

El objetivo de la Protección Radiológica es garantizar que los individuos, trabajadores o personas del público y el medio ambiente no se vean expuestos a riesgos radiológicos que la sociedad considera inaceptables. Entre los diversos medios para cubrir este objetivo se encuentra la Investigación y Desarrollo (I+D), que se lleva a cabo en tres ámbitos:

I. La protección radiológica de las personas:

(a) conocimiento de los efectos biológicos de las radiaciones para determinar la relación que existe entre la dosis de la exposición a las radiaciones y sus efectos sobre la salud;

(b) desarrollo de nuevas técnicas de dosimetría personal para adaptarse a nuevas situaciones, técnicas instrumentales y tecnologías de gestión de la información que permitan una mejor valoración de las dosis de exposición y

(c) desarrollo del principio de optimización de la protección radiológica (ALARA), que se ha constituido internacionalmente como el principio fundamental sobre el que se basan las actuaciones de protección radiológica.

II. La evaluación del impacto radiológico ambiental cuyo objetivo es evaluar la naturaleza y magnitud de las situaciones de exposición a las radiaciones ionizantes como consecuencia de la liberación controlada o incontrolada de material radiactivo al medio ambiente, y

III. La reducción del impacto radiológico de los residuos radiactivos cuyo objetivo es desarrollar técnicas de gestión de materiales y residuos radiactivos adecuadas a cada situación para reducir los riesgos asociados a su gestión definitiva o su liberación al medio ambiente.

A continuación se describen brevemente las líneas estratégicas de I+D del CSN, Sector Eléctrico, CIEMAT y ENRESA, en los ámbitos anteriores.

Protección radiológica de las personas

En el CSN se promueven proyectos en las tres vertientes definidas anteriormente:

a) Los estudios que se realizan sobre los efectos biológicos de la radiación y su capacidad mutagénica permitirán disponer de mejores bases científicas para dilucidar la bondad del actual criterio básico de la protección radiológica de considerar una relación lineal y sin umbral entre el riesgo y las dosis de exposición, para el que siguen existiendo grandes incertidumbres en cuanto al riesgo inducido por dosis moderadas y bajas de radiación.

b) El sistema de protección radiológica y las magnitudes operacionales suministran una base consistente y coherente para la gestión y control del riesgo. Sin embargo, la puesta en práctica de este sistema ha de tener en cuenta la disponibilidad de técnicas y procedimientos para la determinación de las magnitudes que representan la medida de la cantidad de energía transferida por las radiaciones ionizantes a los órganos y tejidos. También se desarrollan proyectos en relación con la estimación de dosis, la aplicación de las recomendaciones de ICRP en cuanto a modelos metabólicos aplicados a la estimación de las dosis internas, coeficientes de dosis y factores de riesgo, que requieren la coordinación de criterios y métodos de estimación de dosis.

c) Dentro de las diferentes alternativas para la reducción de dosis son especialmente interesantes aquellas encaminadas a la optimización de la protección radiológica asociada a la fuente de exposición, lo que se conoce de forma genérica como término

fuelle. Es en este aspecto donde son posibles mayores niveles de mejora pues, si se reduce la fuente de radiación, se reducirá consecuentemente la exposición de los trabajadores

Evaluación del impacto radiológico ambiental

Se trabaja en los siguientes temas:

1. Regulación de temas nuevos o emergentes:

- Desarrollo del Título VII del Reglamento sobre protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes, que incluye las actividades relacionadas con la radiación natural y la protección del público frente al radón.

- Vigilancia radiológica de los materiales metálicos.

- Consecuencias de liberaciones accidentales (accidentes y emergencias).

- Residuos radiactivos de media y baja actividad. Gestión de residuos de muy baja actividad. Desclasificación.

- Protección radiológica del medio ambiente. Protección de especies no humanas.

2. Mejora y ampliación del conocimiento radiológico del territorio. Elaboración, mejora o ampliación de mapas radiológicos.

3. Mejora de infraestructuras básicas relacionadas con la protección radiológica ambiental, por ejemplo, mejora de las capacidades analíticas radiológicas de los laboratorios que conforman las redes de vigilancia ambiental.

Reducción del impacto radiológico de los residuos radiactivos

Se trabaja en el desarrollo de técnicas de gestión de materiales

Radiological protection of persons

The CSN promotes projects in the three areas defined above.

a) The studies performed on the biological effects of radiation and their mutagenic capacity will provide a better scientific basis for assessment of the adequacy of the current basic criterion of Radiological Protection, which consists of considering a linear relationship without thresholds between risk and exposure dose, in which respect major uncertainties continue to exist as regards the risk induced by moderate and low radiation doses.

b) The radiological protection system and operational magnitudes provide a consistent and coherent basis for the management and control of risk. However, consideration should be given in implementing this system to the availability of techniques and procedures for determination of the magnitudes representing the amount of energy transferred by ionising radiations to the organs and tissues. Also performed are projects relating to dose estimation, the application of ICRP recommendations regarding metabolic models applied to the estimation of internal dose, dose coefficients and risk factors, which require the coordination of dose estimate criteria and methods.

c) Within the different alternatives for dose reduction, those aimed at optimising radiological protection associated with the source of exposure, generically known as the source term, are especially interesting. It is in this area that the highest levels of improvement are possible, since, if the radiation source is reduced, the exposure of the workers will be reduced accordingly.

Assessment of environmental radiological impact

Work is carried out in the following areas:

1. Regulation of new or emerging issues:

- Development of Title VII of the Regulations on protection against ionising radiations, which includes activities relating to natural radiation and the protection of the public against radon.

- Radiological surveillance of metallic materials.

- Consequences of accidental releases (accidents and emergencies).

- Low and intermediate level radioactive wastes. Management of very low level wastes. Declassification.

- Environmental radiological protection. Protection of non-human species.

2. Improvement and extension of radiological knowledge of the territory. Drawing up, improvement or extension of radiological maps.

3. Improvement of basic infrastructures related to environmental radiological protection, for example enhancement of the radiological analytical capabilities of the laboratories comprising the environmental surveillance networks.

Reduction of the radiological impact of radioactive wastes

Work is performed on the development of radioactive material and waste management techniques suitable for each situation, in order to reduce the risks associated with the release to the environment of radioactive materials, in particular post-accident radiological interventions and low and intermediate level radioactive waste, the management of very low level wastes and declassification.

ELECTRICITY INDUSTRY

Radiological protection of persons

The objective of this programme is to improve knowledge of the levels of exposure to which the personnel of nuclear power plants are subjected and to develop training techniques and technical measures to minimise such exposure.

- Dose estimate models

This refers to the updating of models and procedures for the determination of internal doses deriving from the possible uptake of radionuclides into the organism by inhalation or ingestion, on the basis of the metabolic models proposed by the International Commission on Radiological Protection.

- Dosimetry

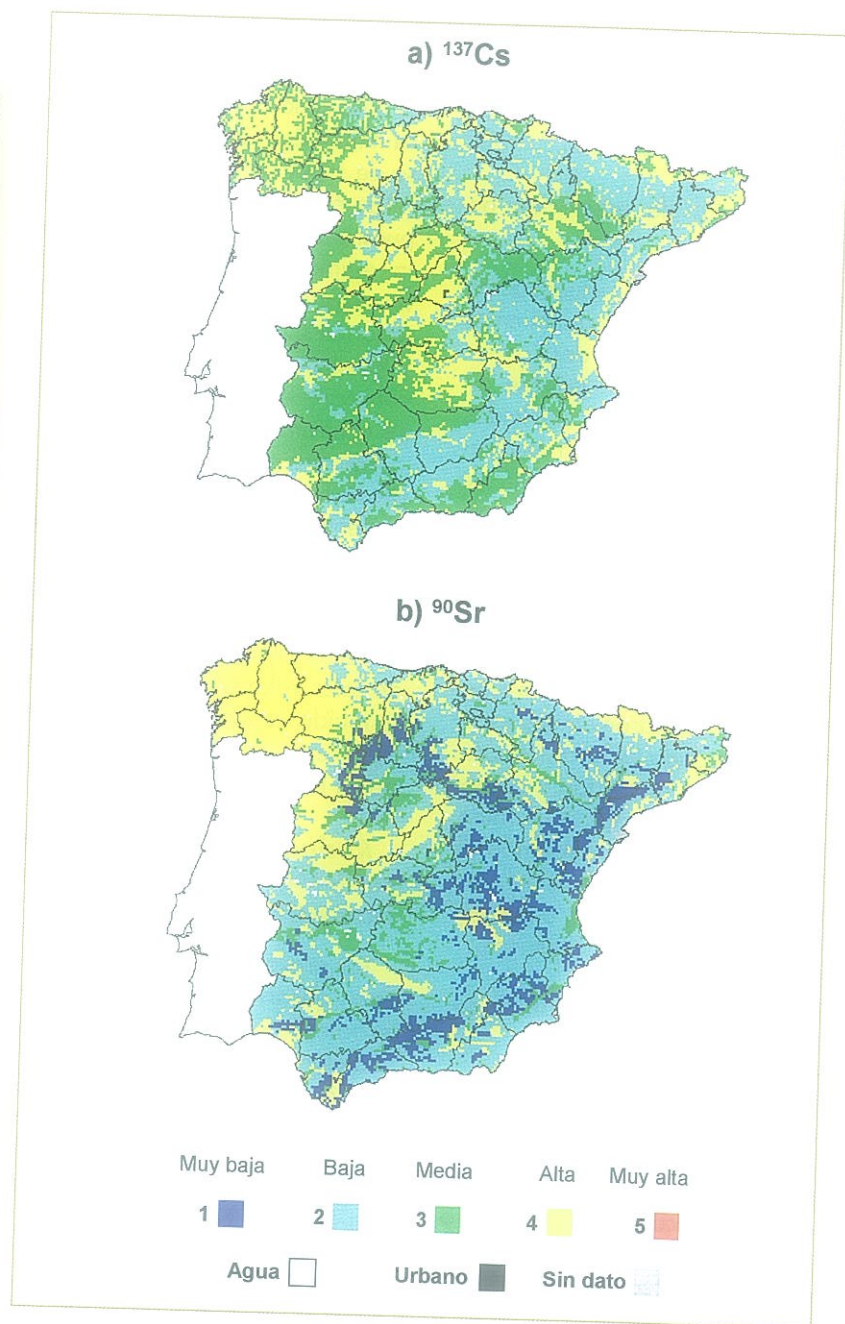
The complex geometries or special spectrometry requirements involved have given rise to seven projects that include two on neutron dosimetry, two on detailed study of the dosimetry systems available on the market and one on the management and integration of dosimetry data.

- Dose reduction techniques (ALARA)

The developments aimed at dose reduction focus on improved worker training and robot applications and simulation or the application of virtual reality techniques (electronic learning).

- Epidemiological studies

The nuclear power plant workers constitute a source of data for epidemiological studies, since



Vulnerabilidad radiológica de los suelos peninsulares en el caso de la vía de la cadena alimentaria (Trueba et al, 2000a).

Radiological vulnerability of peninsular soil in the case of the food chain (Trueba et al, 2000a).

y residuos radiactivos adecuadas a cada situación para reducir los riesgos asociados a la liberación de material radiactivo al medio ambiente, en particular, las intervenciones radiológicas post-accidentales y los residuos radiactivos de media y baja actividad, gestión de residuos de muy baja actividad y desclasificación.

SECTOR ELÉCTRICO

Protección radiológica de las personas

Este programa tiene como objetivo mejorar el conocimiento de los niveles de exposición a que están sometidas las personas que desarrollan su actividad en las centrales nucleares, así como el desarrollo de técnicas de formación y de

medidas técnicas para la minimización de esta exposición.

- Modelos de estimación de dosis

Se refieren a la actualización de los modelos y procedimientos de determinación de dosis internas derivadas de la posible incorporación de radionucleidos en el organismo por vía respiratoria o por ingestión, a partir de los modelos metabólicos que propugna la Comisión Internacional de Protección Radiológica.

- Dosimetría

Las geometrías complejas o necesidades espectrométricas especiales han dado lugar a siete proyectos en los que están incluidos dos de dosimetría neutrónica, dos de estudio más profundo de los sistemas dosimétricos del mercado, y uno de gestión e integración de los datos dosimétricos.

- Técnicas de reducción de dosis (ALARA)

Los desarrollos para la reducción de dosis se concretan en la mejora de la formación de los trabajadores y de la aplicación de la robótica a la simulación o aplicación de técnicas de realidad virtual (electronic learning).

- Estudios epidemiológicos

El colectivo de trabajadores de las centrales nucleares es una fuente de datos para los estudios epidemiológicos, dado que se trata de personas expuestas a niveles bajos de radiaciones, con una dosimetría de gran precisión y un seguimiento sanitario intensivo.

Evaluación del impacto radiológico ambiental

Este programa tiene como objetivo mejorar la estimación del impacto radiológico de la operación de las centrales nucleares y

el desarrollo de herramientas para minimizar este impacto en caso de situaciones accidentales.

Los proyectos se refieren a la puesta a punto de códigos para la estimación de consecuencias de descargas de actividad al exterior en situaciones accidentales, y los efectos mitigadores de estas consecuencias por la aplicación de contramedidas.

Por otra parte, también existen proyectos para mejorar el conocimiento de la radiación natural en el entorno de las centrales nucleares, lo que es importante para poder evaluar las causas de posibles incrementos puntuales de estos valores, que podrían ser atribuidos a descargas de la central, pero en realidad son debidos a fenómenos naturales.

Reducción del impacto radiológico de los residuos radiactivos

Los proyectos tienen como objetivo desarrollar tecnologías y prácticas para reducir el impacto radiológico de la operación y gestión de residuos de las centrales nucleares, con el fin de reducir sus riesgos y su volumen de almacenamiento y optimizar las instalaciones del El Cabril.

También existe una línea de trabajo con varios proyectos relativos a la caracterización de materiales susceptibles de desclasificación, cuyo objetivo es disponer de técnicas y métodos fiables para caracterizar niveles de actividad de distintos materiales y equipos para que en caso de no ser radiactivos puedan ser gestionados por vías convencionales.

CIEMAT

Protección radiológica de las personas

Los proyectos del CIEMAT se centran principalmente en la

they are exposed to low levels of radiation, with very accurate dosimetry and intensive medical tracking.

Assessment of environmental radiological impact

The objective of this programme is to improve estimates of the radiological impact of nuclear power plant operation and to develop tools to minimise this impact in the event of accident situations.

The projects include the refinement of codes for estimation of the consequences of off-site activity releases in accident situations and the effects mitigating these consequences through the application of countermeasures.

Furthermore, there are also projects aimed at improving knowledge of natural radiation in the areas surrounding nuclear power plants, which is important in order to be able to evaluate the causes of possible specific increases in these values that might be attributed to releases from the plant but that are in fact due to natural phenomena.

Reduction of the radiological impact of radioactive wastes

The objective of these projects is to develop technologies and practices to reduce the radiological impact of nuclear power plant operation and the management of their wastes, with a view to reducing the risk involved and the volume of such wastes to be disposed of and optimise the El Cabril disposal facilities.

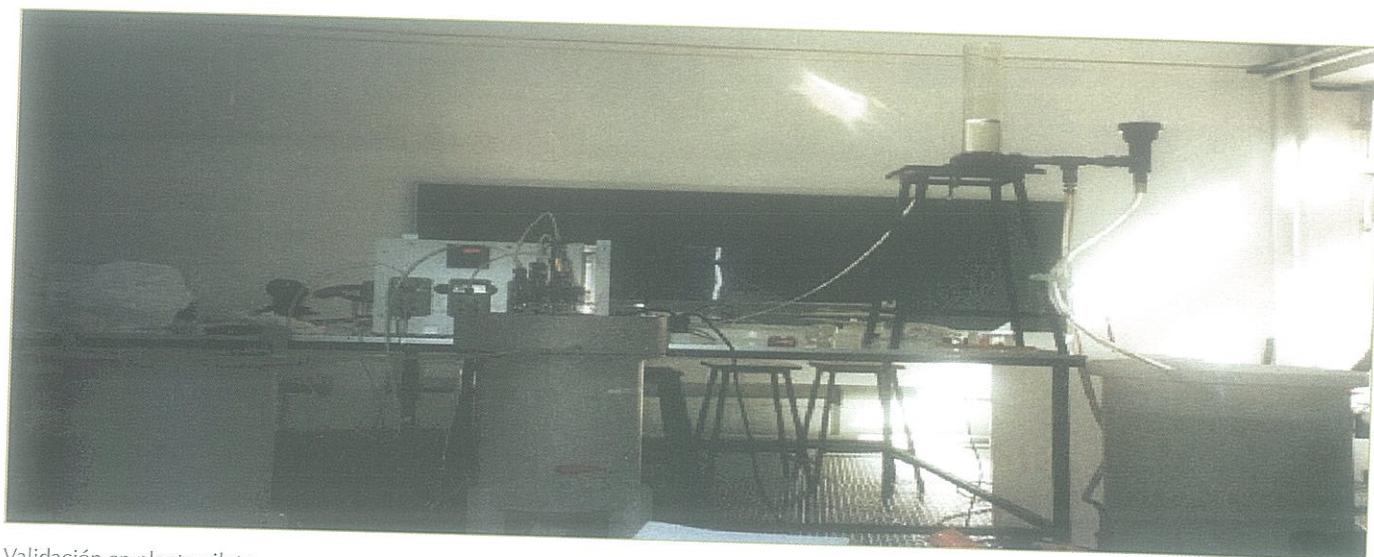
There is also a line of work that includes several projects relating to the characterisation of materials open to declassification, the aim being to make available reliable techniques and methods for the characterisation of the levels of activity of different materials and equipment, such that in the event of their not being radioactive they might be managed via conventional routes.

CIEMAT

Radiological protection of persons

The CIEMAT projects centre mainly on ionising radiation dosimetry, the most significant being the following:

- Research into natural materials for retrospective dosimetry applications.
- Dosimetry of cosmic radiation on commercial airline routes.
- Neutron and mixed field dosimetry.
- Biokinetic models using experimental animals.
- Numeric dosimetry/ Microdosimetry.
- Experimentation on radiobiological efficiency.



Validación en planta piloto.

Validation in pilot plant.

Assessment of environmental radiological impact

- Development and/or adaptation of models and parameters describing the radioecological behaviour of radionuclides.
- Research into marine radioecology, through participation in multinational projects within the latest EU Framework Programmes.
- Intervention strategies for environmental recovery in the wake of accidents. This includes the development of data-processing tools aiding decision-making and allowing for the selection of optimised strategies in actual interventions, including the determination of the radiological risk prevented, the residual risk following the intervention and the intervention budget.
- Chronic exposure due to natural radioactivity sources, for example surveillance of radon in homes and the thermal waters of spas and radiological assessment of the phosphates industry and its environmental implications.
- Evaluations relating to the definitive management of solid radioactive wastes from different generation streams, development of protection principles and criteria and demonstration of the isolation capacity and the safety of the systems of barriers considered:
 - Declassification/exemption of radioactive wastes. Levels of declassification.
 - Safety assessment methods for the definitive disposal of low- and intermediate-level waste. Development of methodologies for the establishment of criteria for waste acceptance in low level waste disposal.
 - Assessment of the environmental impact of deep geological disposal.
 - Models of radionuclide transfer in the biosphere. Systems parameterisation.

dosimetría de radiaciones ionizantes, los más significativos son:

- Investigación sobre materiales naturales para aplicaciones de dosimetría retrospectiva
- Dosimetría de la radiación cósmica en las rutas aéreas comerciales
- Dosimetría de neutrones y campos mixtos.
- Modelos biocinéticos con animales de experimentación
- Dosimetría numérica/Microdosimetría.
- Experimentación sobre eficiencia radiobiológica

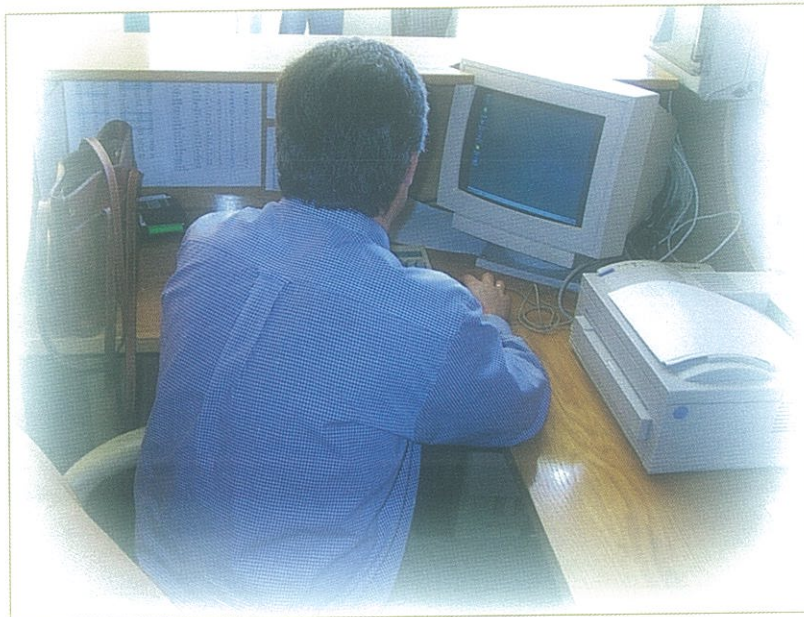
Evaluación de impacto radiológico ambiental

- Desarrollo y/o adaptación de modelos y parámetros que describan el comportamiento radiológico de los radionucleidos
- Investigación en radiología marina mediante participación en los proyectos multinacionales de los últimos Programas Marco de la U.E.
- Estrategias de intervención para la recuperación ambiental tras accidentes. Incluye el desarrollo de herramientas informáticas de ayuda a la decisión que

permitan la selección de estrategias optimizadas en una intervención real, con determinación del riesgo radiológico evitado, riesgo residual tras la intervención y presupuesto de la intervención.

- Exposición crónica debida a fuentes de radiactividad natural, por ejemplo, las vigilancias sobre radón en viviendas y aguas termales de balnearios y la evaluación radiológica de la industria de fosfatos y sus implicaciones medioambientales.
- Evaluaciones relacionadas con la gestión final de los residuos radiactivos sólidos, procedentes de distintas corrientes de generación, desarrollo de principios y criterios de protección y demostración de la capacidad de aislamiento y seguridad de los sistemas de barreras consideradas:

- Desclasificación / exención de residuos radiactivos. Niveles de desclasificación.
- Métodos de análisis de seguridad para la disposición final de residuos de baja y media actividad. Desarrollo de metodologías para derivar criterios de aceptación de residuos en el almacenamiento de residuos de baja actividad



- Análisis de impacto ambiental derivado de almacenamientos geológicos profundos

- Modelos de transferencia de radionucleidos en la biosfera. Parametrización de los sistemas

- Aproximación por biosferas de referencia al tratamiento de la biosfera en el largo plazo.

- Simulación del cambio climático a largo plazo y consecuencias para el sistema biosférico

- Caracterización y evaluación de emplazamientos para el almacenamiento geológico profundo.

• Protección radiológica ambiental de especies no humanas.

ENRESA

Las líneas de actuación y objetivos genéricos de ENRESA se refieren al campo de la reducción del impacto radiológico de los residuos radiactivos:

a) Aportar información sobre el comportamiento detallado de radionucleidos de interés en la biosfera, para apoyar las evaluaciones de impacto radiológico de sus proyectos y actividades.

b) Aportar información para el desarrollo de los criterios de protección radiológica aplicables.

c) Mejorar el conocimiento para cubrir algunas necesidades concretas de la aplicación operativa de la protección radiológica, con interés específico en los aspectos de restauración ambiental.

Proyectos concretos en este campo son:

• **BIOCOM – COMRA – Comportamiento de radionucleidos en la biosfera**

Este proyecto busca lograr una mejor comprensión de los procesos de transporte y transferencia de radionucleidos en la biosfera, incluyendo tanto consideraciones de interés para los sistemas de almacenamiento de residuos radiactivos, como las relativas a procesos de restauración ambiental de espacios afectados por contaminantes radiactivos.

• **CPR. Estudios de soporte sobre criterios y aplicaciones del sistema de protección radiológica**

El proyecto efectúa el seguimiento de los desarrollos de las organizaciones internacionales relevantes tales como ICRP, OIEA, NEA/OCDE, UE, sobre criterios y principios básicos de protección,

- Reference biosphere approach to long-term treatment of the biosphere.

- Simulation of long-term climate change and consequences for the biospheric system.

- Site characterisation and evaluation for deep geological disposal.

• Environmental radiological protection of non-human species.

ENRESA

ENRESA's lines of action and generic objectives focus on the reduction of the radiological impact of radioactive wastes:

a) Provision of information on the detailed behaviour of the radionuclides of interest in the biosphere, in support of assessment of the radiological impact of the agency's projects and activities.

b) Provision of information for the development of applicable radiological protection criteria.

c) Improvement of knowledge in order to cover certain specific needs in the operational application of radiological protection, with specific interest in aspects relating to environmental restoration.

The specific projects in this field are as follows:

• **BIOCOM – COMRA – Behaviour of radionuclides in the biosphere**

This project aims to achieve a better understanding of the processes of radionuclide transport and transfer in the biosphere, including both considerations of interest for radioactive waste disposal systems and others relating to processes of environmental restoration of areas affected by radioactive contaminants.

• **CPR. Support studies on radiological protection system criteria and applications**

This project tracks the developments achieved by the relevant international organisations, such as the ICRP, IAEA, NEA/OECD and EU, regarding basic protection criteria and principles, as well as their interpretation and practical application.

• **FASSET. Framework for assessment of environmental impact**

The objective of FASSET is to create a coherent framework for assessment of the effects of radiations on the environment and ecosystems, completing the current radiological protection system based on protecting mankind.

• **DOSIN – Comparison of "in vivo" and "in-vitro" techniques for the**

measurement of internal contamination by actinides

The ultimate objective of this project is to study of the evolution with time of both the activity retained and that excreted, with a view to obtaining internal dose, taking into account all the new recommendations and new standards in the field of Internal Dosimetry.

• VULNES – Specific vulnerability of Spanish agricultural ecosystems

The objective of this project is to determine the specific vulnerability of Spanish agricultural ecosystems through incorporation into the previously obtained vulnerability indexes of soil-plant transfer processes, such that the radiological impact through the food chain may be quantified.

• Mechanisms for radionuclide transfer in the medium

The objective of this project is the study of detailed mechanisms of the behaviour of natural and artificial radionuclides in a specific medium.

• Substrate-plant transfer of radionuclides and stable elements. Evaluation for the recovery of contaminated soils

The objectives of this project are to group the procedures to be designed to obtain reliable results from different determinations in different types of samples, the aim being to achieve greater sensitivity than that currently available.

The second objective is to group all the field-work and the applications of the procedures developed for determination of the different parameters selected, such that it be possible to adopt an approach allowing insight to be gained into the processes influencing the transfer of radioactive contaminants and stable elements from a given substrate to plants and their subsequent distribution to the different parts of the plant.

• Adaptation of drinking water systems for the removal of the radiological content

Supplies of water for human consumption may contain radioactivity of natural origin (mainly wells) or may be affected by discharges of radioactive effluents from human activities, essentially in the event of situations beyond control. Drinking water treatment systems are not specifically designed to reduce this eventual radioactive content, although it is credible that such reductions might be achieved without substantially altering the operating mode of drinking water plants.

así como de su interpretación y aplicación práctica.

• FASSET. Framework for assessment of environmental impact

El objetivo de FASSET es crear un marco coherente para evaluar los efectos de las radiaciones sobre el medio ambiente y los ecosistemas, complementando así el sistema actual de protección radiológica basado en la protección al hombre.

• DOSIN – Comparación de técnicas "in vivo" e "in-vitro", para la medida de contaminación interna por actínidos

El objetivo final de este proyecto consiste en estudiar la evolución con el tiempo tanto de la actividad retenida como de la excretada, para la obtención de dosis internas, teniendo en cuenta todas las nuevas recomendaciones y la nueva normativa dentro del campo de la Dosimetría Interna.

• VULNES – Vulnerabilidad específica de ecosistemas agrícolas españoles

El objetivo del proyecto es determinar la vulnerabilidad específica de los ecosistemas agrícolas españoles, mediante la incorporación, a los índices de vulnerabilidad previamente obtenidos, de los procesos de transferencia suelo-planta, de modo que pueda cuantificarse el impacto radiológico a través de la cadena alimentaria.

• Mecanismos de transferencia de radionucleidos en el medio

El objetivo del proyecto es el estudio de mecanismos detallados de comportamiento de radionucleidos naturales y artificiales en un medio concreto.

• Transferencia de radionucleidos y elementos estables del sustrato al vegetal. Evaluación para la recuperación de suelos contaminados

Los objetivos del proyecto son agrupar los procedimientos que deben ser diseñados, para obtener resultados fiables de las distintas determinaciones en los distintos tipos de muestra, pretendiendo con ello alcanzar una mayor sensibilidad que la actualmente disponible.

Segundo, agrupar todos los trabajos de campo y la aplicación de los procedimientos desarrollados para la determinación de los distintos parámetros seleccionados, de forma que se permita una aproximación al entendimiento de los procesos que tienen influencia en la transferencia de contaminantes radioactivos y elementos estables desde un sustrato dado al vegetal, y su distribución a las diferentes partes de la planta.

• Adecuación de los sistemas de potabilización para la eliminación de contenido radiológico en aguas

Los suministros de agua para consumo humano pueden contener radiactividad de origen natural (mayoritariamente en pozos) o pueden resultar afectados por descargas de efluentes radiactivos de actividades humanas, esencialmente en el supuesto de situaciones fuera de control. Los sistemas de tratamiento para potabilización no están específicamente concebidos para reducir ese eventual contenido radiactivo, aunque es creíble que se pudiera conseguir tal reducción sin alterar sustancialmente la forma de operar de las plantas de potabilización.