

PANORÁMICA INTERNACIONAL DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS RADIACTIVOS

THE INTERNATIONAL PANORAMA OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT

E. GARCÍA - E. VICO - A. R. BECEIRO

Existe un consenso internacional en cuanto a que deben ser tenidos en cuenta aspectos de naturaleza muy diferente para la gestión segura, en el corto y largo plazo, de los residuos radiactivos y el combustible gastado. Las soluciones tecnológicas a implementar precisan ser acompañadas de un adecuado desarrollo normativo y jurídico, un nítido marco de responsabilidades y sólidos sistemas de financiación. Este planteamiento general ha traducido en programas nacionales con diferentes grados de madurez en cada uno de los aspectos considerados.

There is an international consensus that aspects of a very different nature must be addressed for the safe short- and long-term management of radwaste and spent fuel. The technological solutions to be implemented must be accompanied by effective regulatory and legal development, a clear framework of responsibilities and strong financing systems. This general approach has been translated into national programs in which each of these issues under consideration are at differing stages of maturity.

INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar describiendo los métodos de gestión de los residuos radiactivos, parece razonable hacer una pequeña reseña al concepto de la radiactividad, dando unas pinceladas sobre su descubrimiento, sus aplicaciones a lo largo de los últimos cien años y los riesgos inherentes a su uso.

La radiactividad, denominada así por primera vez por Marie Curie, fue descubierta por Antoine-Henry Becquerel en 1896, tres meses después del descubrimiento de los rayos X por Konrad W. Röntgen, y se define como el fenómeno de la emisión espontánea de radiación ionizante procedente del núcleo de un átomo. Esta emisión puede ser de tres tipos: alfa, beta o gamma. Las dos primeras son partículas cargadas eléctricamente (núcleos de Helio y electrones, respectivamente) y la tercera es una onda electromagnética, similar a los rayos X.

Los primeros experimentos se realizaron con uranio (U), aunque posteriormente se fueron descubriendo otros elementos químicos presentes en la naturaleza y también radiactivos, como el torio, polonio, radio, radón, etc., y otros, denominados artificiales, que fueron surgiendo de elementos ya conocidos al ser bombardeados con partículas, primero de tipo alfa, luego neutrones y posteriormente otras partículas gracias a los aceleradores de partículas. Actualmente se conocen más de 2.500 radionucleidos artificiales. Uno de estos elementos descubiertos fue el Plutonio (Pu), que aparece en la cadena de desintegración del U-238 y que no existe en la naturaleza, pero que tiene su importancia al ser el Pu-239 uno de los tres nucleidos, junto con U-235 y U-233, que se fisióna con neutrones térmicos (neutrones moderados).

Desde el descubrimiento de los rayos X y las radiaciones ionizantes, su aplicación en el campo de la

INTRODUCTION

Before beginning to describe radioactive waste management methods, it would appear to be reasonable to briefly touch on the concept of radioactivity, providing a rough sketch of its discovery, its applications over the last one hundred years and the risks inherent in its use.

Radioactivity, first so called by Marie Curie, was discovered by Antoine-Henry Becquerel in 1896, three months after the discovery of X-rays by Konrad W. Röntgen, and is defined as the phenomenon of spontaneous emission of ionising radiation from the nucleus of an atom. This emission may be of three types: alpha, beta or gamma. The first two are electrically charged particles (nuclei of Helium and electrons, respectively), while the third is an electromagnetic wave similar to X-rays.

The first experiments were performed with uranium (U), although subsequently other chemical elements present in nature and also radioactive were discovered, along with others, known as artificial elements, that emerged from known elements when bombarded with particles, first alpha, later neutrons and finally other particles thanks to particle accelerators. Today more than 2,500 artificial radionuclides are known. One of the elements discovered was Plutonium (Pu). This appears in the decay chain of U-238 and is not found in nature, although it is important since, along with U-235 and U-233, Pu-239 is one of the three nuclides that fission with thermal neutrons (moderated neutrons).

Following the discovery of X-rays and ionising radiations, their application in the field of medicine began to be highly appreciated, and their use spread to applications in various industrial activities. In medicine radioisotopes are used for both diagnosis (for example Xenon-133) and for therapeutic purposes (isotopes of Iodine, Iridium-192, Cobalt-60), while in industry sealed sources (Iridium-192, Cobalt-60 and Cesium-137) are used to obtain radiographs and for the elimination of plagues, the conservation of food-stuffs in the agricultural sector and as tracers (Krypton-85) for the measurement of flows, leakage in piping and the behaviour of aquifers.

In the wake of the discovery of the nuclear fission of U-235, these applications of ionising radiations spread from the field of research to that of the military industry. As is well known, the fission chain

medicina empezó a ser muy apreciada y su uso se fue extendiendo y aplicando a distintas actividades industriales. En el campo de la medicina, se utilizan radioisótopos tanto para la diagnosis (por ejemplo Xenon-133) como con fines terapéuticos (isótopos del Yodo, Iridio-192, Cobalto-60), y en la industria se utilizan fuentes selladas (Iridio-192, Cobalto-60 y Cesio-137) para obtener radiografías y para la eliminación de plagas, para la conservación de alimentos en el sector agrícola y alimentario y como trazadores (Kriptón-85) para medidas de caudales, fugas de tuberías y comportamiento de acuíferos.

A raíz del descubrimiento de la fisión nuclear del U-235, estas aplicaciones de las radiaciones ionizantes se fueron extendiendo desde el campo de la investigación al campo de la industria militar. Como es bien sabido, la fisión en cadena fue empleada por primera vez para realizar las bombas atómicas, tanto de U-235 como de Pu-239, y utilizadas durante la Segunda Guerra Mundial en Japón. Acabada la guerra, se comienza a investigar la fisión en cadena controlada, los reactores nucleares y su uso en la industria civil. En la década de los años 1950 se construyeron los primeros reactores nucleares para usos pacíficos, entrando en operación las primeras centrales nucleares en Estados Unidos, Reino Unido, Rusia y Francia.

Tras la finalización de la Segunda Guerra Mundial, se suceden las iniciativas de cooperación internacional que van dando lugar a la creación de diversos organismos internacionales, todos ellos con el fin de promover la paz y el bienestar social así como la utilización pacífica de la energía nuclear. Estos organismos son: el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), creado en 1957 dentro de las Naciones Unidas (establecida en octubre de 1945); la Agencia de Energía Nuclear (AEN), denominada así desde 1972 pero creada en 1957 como Agencia Europea de Energía Nuclear dentro de la Organización para la Cooperación Económica Europea (OCEE, basada en el Plan Marshall de reconstrucción de Europa, 1948-1961) que en di-

ciembre de 1960 pasa a ser la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE); y, por último, la constitución de la Comisión de la Unión Europea de acuerdo con los Tratados de la Comunidad Económica Europea y la Comunidad Europea de la Energía Atómica (ambos Tratados, CEE y EURATOM, firmados en Roma el 25 de marzo de 1957).

Desde todas estas instituciones se promueve no sólo el uso pacífico de la energía nuclear, sino también la seguridad de las instalaciones y la protección de las personas y su entorno.

Como en cualquier otra actividad, la utilización de la fisión nuclear y de los elementos radiactivos origina residuos, o materiales para los que no está previsto ningún otro uso o utilidad posterior. Una parte de estos residuos se caracteriza por ser radiactivos, bien por contener isótopos radiactivos en su composición o estar contaminados por radionucleidos al tener algún isótopo radiactivo ajeno a su composición. La gestión de este tipo de residuos es una actividad que ha ido cobrando importancia con el transcurso de los años tanto en los países que realizan actividades asociadas al uso de la radiactividad como en los organismos internacionales. Estos organismos internacionales vienen trabajando principalmente desde la década de 1970 en la búsqueda de soluciones a problemas comunes en la gestión de los residuos radiactivos.

RESIDUOS RADIATIVOS

Desde principios del siglo XX se conocen los riesgos que para salud y el medio ambiente tiene el empleo de la radiactividad. Por este motivo se están desarrollando una serie de normativas y estándares tanto nacionales como internacionales que controlan, limitan, y, en general, reglamentan todas aquellas actividades que emplean radionucleidos y, más concretamente, las llamadas instalaciones nucleares. Con este fin se han constituido organismos reguladores de estas actividades así como se han ido elaborando y aprobando, tanto en los países con instalaciones nucleares como por organismos inter-

reaction was first used in making the atomic bombs, of both U-235 and Pu-239, that were used on Japan during the Second World War. At the end of the war, research began on controlled chain reactions, nuclear reactors and their use in civil industry. During the 1950's, the first nuclear reactors were built for peaceful applications, and the first nuclear power plants started operation in the United States, Great Britain, Russia and France.

After the Second World War there were numerous initiatives for international co-operation that gave rise to the creation of various international organisations, all aimed at promoting peace and welfare and the peaceful use of nuclear energy. These organisations are: the International Atomic Energy Agency (IAEA), created in 1957 within the United Nations (established in October 1954), the Nuclear Energy Agency (NEA), known as such since 1972 but created in 1957 as the European Nuclear Energy Agency within the European Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, based on the Marshall Plan for European reconstruction, 1948-1961), which in December 1960 became the Organisation for Economic Co-operation and Development (ECD), and finally the constitution of the Commission of the European Union and the European Atomic Energy Community (both treaties, CEE and EURATOM, signed in Rome on 25th March 1957).

All of these institutions promote not only the peaceful use of nuclear energy but also the safety of the installations and the protection of people and their environment.

Like any other activity, the use of nuclear fission and of radioactive elements generates wastes, materials for which no subsequent use or application is foreseen. A part of these wastes are characterised by their being radioactive, either due to their containing radioactive isotopes in their composition or to their being contaminated by radionuclides through some radioactive isotope foreign to their composition. The management of this type of wastes is an activity that has become increasingly important over the years, both in countries performing activities associated with radioactivity and among the international organisations. These organisations have been working since the 1970's on the search for solutions to the common problems involved in radioactive waste management.

RADIOACTIVE WASTES

The risks for health and the environment posed by the use of radioactivity have been known since the beginning of the 20th century. For this reason, a series of national and international standards are being developed to control, limit and in general regulate all activities in which radionuclides are used, and more specifically the so-called nuclear installations. With this aim in mind, organisations have been set up to regulate these activities, and both the countries with nuclear installations and the international organisations have drawn up and approved the legislation, standards and codes required for the licensing, safe operation and decommissioning of such installations. Different international Conventions and Treaties have also entered force to regulate the use of fissile material and nuclear safety, as well as the safe management of the radioactive wastes generated by the use of radionuclides.

Radioactive wastes arise from the activities carried out within the nuclear fuel cycle (associated with the

production of electricity by nuclear means) and from the use of radionuclides outside this cycle. Most radioactive wastes are produced within the cycle, in the processes of mining and fuel manufacturing, during nuclear power plant operation and dismantling and, in certain cases and depending on the policy established (open or closed cycle), in the treatment of spent fuel (reprocessing).

The most widely used definition of radioactive waste is the one used by the IAEA in its publications and in the texts of Conventions. Radioactive waste is gaseous, liquid or solid radioactive material for which no subsequent use is foreseen and that the regulatory body controls as radioactive waste in accordance with the applicable legislative framework.

Various conclusions may be drawn from this definition:

- A legislative framework is required, suitable for the political situation of each country
- An organisational system must be set up with a clear definition of the responsibilities of organisations having a role in the generation, management, control and licensing of radioactive materials.

- The regulatory body, or the organisation responsible for regulating any aspect of safety in the management of radioactive wastes, including the granting of licences, is responsible for establishing the limits for wastes to be considered radioactive.

Consequently, the first problem is the very definition of what constitutes a radioactive waste. Logically, this problem emerges, for example, when attempts are made to compare radioactive waste management in different countries or simply when radioactive materials or wastes are to be transported from one country to another. These differences imply an added difficulty when informing or reporting to the public on activities relating to radiation, a concept which in itself is not easy to grasp.

The international organisations have made progress in trying to arrive at an internationally accepted definition of what radioactive waste is, and at a system for classification. As regards definition, the "Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety radioactive waste management" is the latest internationally approved text to contain a definition of radioactive waste, as mentioned above. In relation to the classification system, in 1994 the IAEA published a safety guide within the framework of its programme of radioactive waste safety standards (RADWASS programme) on the classification of radioactive wastes. This guide provides a general classification system that facilitates communication and information exchange between countries and recommends a method for waste classification. This guide was an update of the categories established by the IAEA in 1970. Other international organisations, such as the European Commission, already use this system to inform and obtain data from the Member States. The classification is the one shown in the following table.

It is interesting to note that this table introduces two new concepts, whose definitions, according to the aforementioned guide, are as follows:

Exemption, which is defined as the designation given by the regulatory body to those radiation sources¹ that are not subject to regulatory control because of their very low radiological risk. This designation may be applied to sources free from nuclear regulatory control and to sources that are exempt from such control in accordance with the applicable levels of clearance.

Clase de residuos	Características	Opción de gestión final
1 Residuos Exentos	Actividad menor a los niveles de desclasificación fijados por el órgano regulador	Residuo convencional
2 Residuos de Baja y Media Actividad (RBMA)	Actividad mayor a los niveles de desclasificación y con emisión de calor menor que 2 kW/m^3	
2.1. Vida corta	(La diferencia viene dada por la concentración máxima permitida de radionucleidos emisores alfa en los almacenamientos definitivos en superficie)	Almacenamiento cerca de superficie o geológico
2.2. Vida larga		Almacenamiento geológico
3 Residuos de Alta Actividad (RAA)	Emisión de calor por encima de 2 kW/m^3 y con concentraciones de radionucleidos de vida larga superiores a los residuos de vida corta	Almacenamiento geológico

Waste class	Characteristics	Final management option
1 Exempt wastes	Activity lower than the levels for clearance established by the regulatory body	Conventional waste
2 Low and Intermediate Level Wastes (LILW)	Activity higher than the levels for clearance and with heat emission below 2 kW/m^3	
2.1. Short-lived	(The difference lies in the maximum permissible concentration of alpha-emitting radionuclides in surface disposal facilities)	Near surface or geological disposal
2.2. Long-lived		Geological disposal
3 High Level Wastes (HLW)	Heat emission greater than 2 kW/m^3 and with higher concentrations of long-lived radionuclides than short-lived radionuclides.	Geological disposal

nacionales, la legislación, normativas y códigos necesarios para su licenciamiento, operación segura y clausura. También han entrado en vigor distintas Convenciones y Tratados internacionales para regular el uso del material fisil y de la seguridad nuclear y gestión segura de los residuos radiactivos que genera el uso de radionucleidos.

Los residuos radiactivos se originan por las actividades realizadas dentro del ciclo de combustible nuclear (asociadas a la producción de energía eléctrica de origen nuclear) y por el uso de radionucleidos fuera del ciclo. La mayor parte de los residuos radiactivos se generan dentro del ciclo, en los procesos de mine-

ría y fabricación del combustible, durante la operación de una central nuclear y su desmantelamiento, así como en algunos casos, dependiendo de la política establecida de ciclo cerrado o abierto, del tratamiento del combustible gastado (reprocesamiento).

La definición más extendida de residuo radiactivo es la que utiliza el OIEA tanto en sus publicaciones como en los textos de las Convenciones. Residuo radiactivo es aquel material radiactivo en forma gaseosa, líquida o sólida para el que no se prevé ningún uso ulterior y que el órgano regulador controla como residuo radiactivo según el marco legislativo y regulador aplicable.

De esta definición se pueden derivar varias conclusiones:

- se necesita un marco legislativo adecuado a la situación política de cada país
- se ha de establecer un sistema organizativo con una clara definición de responsabilidades entre las organizaciones que desempeñan un papel en la generación, gestión, control y licencia de los materiales radiactivos
- el organismo regulador, o aquél órgano responsable de reglamentar cualquier aspecto de seguridad en la gestión de los residuos radiactivos incluida la concesión de licencias, es el responsable de fijar los límites para considerar un residuo como residuo radiactivo.

Por lo tanto, el primer problema es la propia definición de lo que es considerado residuo radiactivo. Lógicamente, este problema se pone de manifiesto, por ejemplo, cuando se intenta hacer una comparación de la gestión de los residuos radiactivos entre distintos países o, simplemente, realizar un transporte de material, o residuo, radiactivo entre países. Estas diferencias suponen una dificultad añadida a la hora de informar o comunicar al público actividades relacionadas con las radiaciones, cuyo concepto es ya de por sí poco intuitivo.

Desde los organismos internacionales se han ido haciendo progresos para intentar llegar a una definición internacionalmente aceptada de lo que es un residuo radiactivo y de su sistema de clasificación. En cuanto a su definición, la *Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos* es el último texto internacionalmente aprobado en el que figura la definición de residuo radiactivo como ya se ha mencionado más arriba. En cuanto al sistema de clasificación, el OIEA publicó en 1994 una guía de seguridad, dentro de su programa de elaboración de normas de seguridad en residuos radiactivos (*Programa RADWASS*), sobre clasificación de los residuos radiactivos. Esta guía proporciona un sistema

general de clasificación que facilita la comunicación y el intercambio de información entre países y recomienda un método para clasificar los residuos. Esta guía fue una actualización de las categorías establecidas por el OIEA en 1970. Otros organismos internacionales como la Comisión Europea ya utilizan este sistema para informar y obtener datos de los Estados miembros. La clasificación es la que aparece en el siguiente cuadro.

Es interesante señalar que en esta tabla se introducen dos nuevos conceptos, cuyas definiciones, según esa misma guía, son:

- **Exención**, que se define como la designación dada por el organismo regulador a aquellas fuentes¹ de radiación que no están sujetas al control regulador porque su riesgo radiológico es muy bajo. Esta designación puede aplicarse a fuentes libres del control regulador nuclear y a fuentes que son liberadas de este control de acuerdo con los niveles de desclasificación aplicables.

- **Desclasificación**, que se define como la retirada de materiales radiactivos generados o empleados dentro de actividades o prácticas autorizadas de cualquier control radiológico impuesto por el organismo regulador.

Para tener una idea de la cantidad de residuos que se deben gestionar, se estima que en la Unión Europea anualmente se generan unos 50.000 m³ de residuos radiactivos acondicionados², de los cuales aproximadamente dos tercios son RBMA vida corta y un tercio de vida larga. Además se generan unos 500 m³ de RAA/CG (combustible gastado). Estos volúmenes de residuos no deberían suponer un grave problema de gestión teniendo en cuenta que anualmente en la Unión Europea se generan 35 millones de toneladas de residuos tóxicos y peligrosos. Sin embargo, las características "radiactivas" de estos residuos exigen establecer unos sistemas y programas para su gestión segura, tanto desde el punto de vista medioambiental como de salud pública.

Clearance, which is defined as the removal of radioactive materials generated by or used in authorised activities or practices from any radiological control imposed by the regulatory body.

To give an idea of the quantity of wastes that have to be managed, it is estimated that some 50,000 m³ of conditioned radioactive wastes² are generated annually in the European Union, of which approximately two thirds are short-lived LILW and the remaining one third long-lived wastes of this same type. Furthermore, some 500 m³ of HLW/SF (spent fuel) are generated. These volumes of wastes should not pose any serious management problem, taking into account that in the European Union 35 million tons of toxic and hazardous wastes are generated annually. Nevertheless, the "radioactive" characteristics of these wastes require systems and programmes to be set up for their safe management, from the point of view both of the environment and public health.

These quantities of wastes are expected to increase as a result of the activities involved in dismantling nuclear and radioactive installations, although improvements continue to be made in the policies of minimising waste production, especially short-lived low and intermediate level wastes.

ORGANISATIONAL SYSTEMS

Given the need to establish a basic framework of responsibilities, the origin of the civil application of radioisotopes within the sphere of research paved the way for these pioneer institutes being assigned functions relating to the safety and management of radioactive materials.

These governmental research centres and institutes have acted as the organisations responsible, in the widest sense of the word, for the different aspects associated with radioactivity applications. This type of organisations, still in force in many countries, confers upon a single body the overall responsibility for areas including research itself, as their original function, at nuclear and radioactive installations, the production of radioactive materials, the regulatory capacity in the area nuclear safety, activities associated with the exploitation of uranium-bearing deposits, in relation both to the aspects of production and environmental restoration, and the management of the wastes produced in all these activities.

Since the 1970's, the development of nuclear programmes in different countries, the social awareness of the need for better resources and environmental management and the driving force provided by the international organisations have constituted the basis for a new institutional and organisational framework model that, in general, has allowed for the evolution of systems of responsibilities through the differentiation of production, management and control functions.

These new organisational schemes revolve around the establishment of a clearly defined system of responsibilities, configuring a basic triangle that separates the responsibilities of the waste producers from those of the organisation in charge of the regulatory function and those of the organisations that,

¹ En el glosario del OIEA (versión de 2000) la definición incluye tanto fuentes como prácticas.

² Residuos acondicionado es aquel residuo preparado para su almacenamiento, ya sea temporal o definitivo, de acuerdo con los criterios de seguridad de la instalación.

¹ In the IAEA glossary (2000 version) the definition includes both sources and practices.

² Conditioned wastes are those prepared for disposal, either temporary or definitive, in accordance with the safety criteria of the installation in question.

like ENRESA in Spain, are responsible for the management of these materials.

The area of the waste producers is more clearly defined, although a distinction is made between the categories of the major producers, associated with nuclear electric production, either directly or through associated mining and fuel manufacturing activities, and the minor producers that use radioisotopes in the fields of research, applied medicine or industry in general.

The regulatory authorities are generally constituted as government bodies responsible at national level for matters relating to nuclear safety. In general, their realms of competence cover the supervision and control of nuclear and radioactive installation operation, the drawing up of specific standards in this area and the awarding of licences. The setting aside of the regulatory body within the institutional framework constitutes a point of inflexion, as emphasised and recommended by the international organisations, since it is provided with the tools required for its functions to be met within a framework of complete independence, with respect to both the producers and the managers.

At the beginning of the 1980's, different countries, fundamentally those having nuclear programmes, decided to set up specific organisations to undertake the management of radioactive wastes, with special attention paid to the co-ordination of the different stages prior to definitive disposal. In each case, these organisational systems are being developed sequentially, such that as of today we have integral first generation organisations living alongside others belonging to this new generation with specific functions.

Two categories may be established within these management organisations, taking into account factors relating to the nature of their organisation and the scope of their competence.

Basically, the nature of these organisations varies in keeping with national idiosyncrasies, although a clear trend towards the creation of management organisations of a public nature may be observed in those countries in which such organisations have been created most recently, as is the case, for example, of RAWRA in the Czech Republic, PURAM in Hungary, Agencija RAO in Slovenia, NUMO in Japan or DD in Denmark.

These are characterised by their greater or lesser dependence on governmental institutions, as a result of which their activities are in fact doubly watched over, by the regulatory body, in aspects relating to the legislation on nuclear safety, and by the governmental departments themselves as regards the other facets of their activities. Private organisations have mainly been set up as responsables for the management of wastes produced by electricity generation.

As regards the scope of their functions, countries such as Belgium, France, Holland, Sweden and Spain have organised an integral and centralised system, while others, such as the United States, Canada, Japan, Germany, Finland and Great Britain, have established systems in which the different organisations undertake responsibility for management of only a part of the wastes generated, the limits being established on the basis of criteria such as waste types of origins.

Analysis of the areas of competence of these organisations shows that, although elements common to all may be recognised, their specifics do confer upon them unique characteristics.

Estas cantidades de residuos se prevé aumenten debido a los residuos que producirán las actividades de desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas, si bien se continua en la mejora de las políticas de minimización de producción de residuos, sobre todo de baja y media actividad de vida corta.

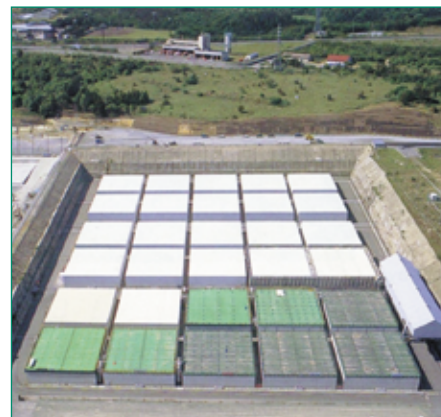
SISTEMAS ORGANIZATIVOS

El origen de las aplicaciones civiles de los radioisótopos en el ámbito de la investigación sentó las bases para que, ante la necesidad de establecer un marco básico de responsabilidades, les fueran asignados a estos institutos pioneros las funciones relativas a la seguridad y la gestión de los materiales radiactivos.

Estos institutos y centros de investigación gubernamentales han actuado como organismos responsables, en el más amplio sentido del término, de los diferentes aspectos asociados a las aplicaciones de la radiactividad. Esta tipología de organismos, aún vigente en numerosos países, confiere a un único ente la responsabilidad integral sobre áreas que incluyen la propia investigación, como función original, en instalaciones nucleares y radiactivas, la producción de materiales radiactivos, la capacidad reguladora en el ámbito de la seguridad nuclear, actividades asociadas a las explotaciones de yacimientos uraníferos, tanto en sus aspectos productivos como de restauración medioambiental, y la gestión de los residuos producidos en todas estas actividades.

Desde los años setenta, el desarrollo de los programas nucleares en los distintos países, la sensibilización social hacia una mejor gestión de los recursos y el medio ambiente, junto con el papel impulsor desempeñado por las organizaciones internacionales, han sido la base sobre la que se ha definido un nuevo modelo de marco institucional y organizativo que ha permitido, en líneas generales, la evolución de los sistemas de responsabilidades mediante la diferenciación de las funciones de producción, gestión y control.

Estos nuevos esquemas organizativos giran en torno al establecimiento de un sistema de responsa-



Almacenamiento de RMBA, Rokkasho, (JNFL, Japón). LILW disposal facility, Rokkasho (JNFL, Japan).

bilidades claramente definido, configurando un triángulo básico que individualiza las responsabilidades de los productores de residuos, los organismos garantes de la función reguladora y las organizaciones, que como ENRESA en España, son responsables de la gestión de estos materiales.

El ámbito de los productores de residuos es más nítidamente definido, si bien a su vez se diferencian las categorías de los grandes productores, asociados a la producción nucleoelectrónica directa o en sus actividades asociadas de minería y fabricación de combustible, y los pequeños productores que utilizan los radioisótopos en los campos de la investigación, la medicina aplicada o la industria en general.

Los organismos reguladores están generalmente constituidos como entidades gubernamentales responsables, en el ámbito nacional, de lo relativo a la seguridad nuclear. En general, sus competencias alcanzan la supervisión y control de la operación de las instalaciones nucleares y radiactivas, la elaboración de la normativa específica sobre la materia y la concesión de licencias. La singularización del organismo regulador dentro del marco institucional supone un punto de inflexión, según remarcan y recomiendan las organizaciones internacionales, al dotarle de las herramientas precisas para el cumplimiento de sus funciones en un marco de completa independencia, tanto con respecto a los productores como a los gestores.

Desde comienzos de la década de los ochenta, diferentes países,

DIVISIÓN DE RESPONSABILIDADES

ORGANISMO
REGULADOR

PRODUCTOR

OPERADOR

fundamentalmente aquellos con programas nucleares, decidieron establecer organizaciones específicas para acometer la gestión de los residuos radiactivos, teniendo muy en cuenta la coordinación de las distintas etapas previas a la disposición final. Estos sistemas organizativos están siendo desarrollados en cada caso de un modo secuencial, de modo que a día de hoy coexisten organizaciones integrales de la primera generación junto a otras de esta nueva generación de funciones específicas.

Podemos establecer dos categorías dentro de estas organizaciones gestoras al tomar en consideración los factores relativos a la naturaleza de su organización y su alcance competencial.

La naturaleza de estas organizaciones varía, básicamente, en consonancia con la propia idiosincrasia nacional, si bien se observa una clara tendencia a la creación de organizaciones gestoras de carácter público en aquellos países que las han constituido en fecha más reciente como son, a modo de ejemplo, los casos de RAWRA en Chequia, PURAM en Hungría, la Agencia RAO en Eslovenia, NUMO en Japón o DD en Dinamarca.

Las organizaciones de carácter público se caracterizan por una dependencia, en mayor o menor grado, con respecto a las instituciones gubernamentales, de modo que de hecho sus actividades se encuentran doblemente tuteladas, por el organismo regulador, en sus aspectos de respeto a la legisla-

ción sobre seguridad nuclear, y por las propias instancias gubernamentales en las demás facetas de su actuación. Las organizaciones de carácter privado han sido creadas, mayoritariamente, como operadoras de la gestión de los residuos generados por la producción eléctrica.

Con respecto al alcance de sus funciones, países como Bélgica, Francia, Holanda, Suecia o España han organizado un sistema integral y centralizado, mientras que otros países tales como Estados Unidos, Canadá, Japón, Alemania, Finlandia o Reino Unido han establecido sistemas en los que diferentes organizaciones asumen las responsabilidades de gestión de sólo una parte de los residuos generados, estableciéndose estos límites según criterios como la tipología de los residuos o el origen de los mismos.

El análisis del ámbito competencial de estas organizaciones muestra que, aun reconociéndose unos elementos comunes entre ellas, sus particularidades les confieren características singulares.

Un elemento de referencia entre las organizaciones sectoriales es el tipo de instalación que genera los residuos. Existen organizaciones específicas para los residuos generados, por un lado, por la operación de las instalaciones radiactivas y por otro por las instalaciones del ciclo. Éste es el caso, entre otros, de Alemania, Suecia o Estados Unidos. En otros casos o complementariamente, también se han constituido organizaciones

An element of reference among the organisations in the sector is the type of installation that generates the wastes. There are organisations specifically for the wastes generated, on the one hand, by the operation of radioactive installations and others for those produced by facilities involved in the cycle. This is the case for Germany, Sweden and the United States, among others. In other cases, or complementary to the above, horizontal organisations have been constituted depending on the type of waste to be managed, for example in the United States, Japan and Finland. Furthermore, if we consider which of these organisations are also responsible for the dismantling of nuclear installations and nuclear power plants, we see that this occurs only in Hungary, Belgium, Denmark and Spain, this in fact constituting one of the challenges in the short term.

FINANCING SYSTEMS

An aspect that is highly specific to the safe management of radioactive wastes is the timescale over which this responsibility is to be exercised. This necessarily implies the guaranteed availability of financial resources adequate for the performance of the technical actions deriving from such management, such that the generations of the future be freed from any type of responsibility or burden.

This responsibility, acquired for the forthcoming decades and centuries, requires the definition of solid and efficient financing systems capable of responding to the evolution of the economic environment.

The ethical commitment referred to above is applied through the principle of "the producer pays", for the management of the radioactive wastes and spent fuel generated by both the large and minor producers. The major producers include the nuclear power plants, the installations associated with uranium mining, those used for the manufacturing of fuel elements and facilities for the reprocessing of spent fuel. The minor producers include applications in industry, medicine and research.

The aforementioned principle implies that the costs of managing these materials, from their removal to their final disposal, are applied throughout the production phase to the organisations whose activities have produced them.

Three main criteria are taken into account in all cases:

- *Liquidity*, as a guarantee that the necessary amounts will always be available when required and that no burden will be transferred to the generations of the future.

- *Equity*, to ensure that the waste producers pay in proportion to the costs deriving from management of the wastes produced by them.

- *Efficiency*, ensuring that the costs are reduced to the greatest possible extent by correct management.

These materials are produced both during the operation of the two categories of installations referred to above, when they are known as operating wastes, and—in large quantities—during the dismantling of these installations at the end of their operating lifetime.

In most of the national cases, each of the aforementioned waste streams is treated in a unique manner as regards the financing of its management costs.

The financing of the management of wastes produced through the application of radioisotopes in

research, medicine and the non-nuclear electric industry is generally covered by tariffing systems based on definition of the categories of wastes, depending on the characteristics of the wastes themselves and assessment of the costs associated with the management of these materials. There are certain cases in which these tariffs apply to the actual cost of these processes and others in which the costs are partially subsidised in view of the social interest of the applications in question.

The nuclear installations associated, in one way or another, with electricity generation produce substantially the larger part of the operating wastes. The wastes generated during these processes are more complex in type from this perspective, basically because the final management of part of them will not be undertaken for many decades, according to the currently available technology. This circumstance, and the application, in different ways and with different interpretations, of the aforementioned principle define the need to establish systems for capitalisation during the production phase of the facilities, capable of covering final management costs that will normally be incurred after they have completed their production phase.

Provision of the resources that will be required in the future is accomplished by the pre-payment of funds by the operators of the nuclear power plants, in accordance with cost forecasts and national legislative mechanisms, and by the payment of fees, on production or sales of electricity. In both cases, capitalisation is carried out by the organisations set up to undertake financial management, in most cases under the auspices of governmental institutions or committees.

In either case, the management of these resources corresponds to the same organisations as are responsible for the technical activities. Only in certain cases have organisations been constituted for this specific purpose. This is the case of the RWMC in Japan, which is responsible for management of the fund set up for the definitive management of the high level wastes produced during the cycle. An aspect common to both cases is the fact that the function is overseen by the corresponding Governments, either through the competent Ministries or through specific committees.

There is, however, a very varied casuistry in the schemes adopted by the different countries. This is not the result of disagreement as regards the basic principle of management financing but rather of the specific circumstances of each such country and of the variety of interpretations that exists in application of the principle.

A final aspect to be considered, but no less relevant, is the treatment of the costs associated with the decommissioning and dismantling of the installations involved in the nuclear fuel cycle. The specific problems of this activity, from the economic point of view, relate more to the high costs of such projects, because of their intrinsic technical complexity, than to the timeframes over which the activity is or will be carried out, since from the technical point of view performance is already a possibility.

Only a few States have set up organisations different from the operators to undertake responsibility for this function. More frequently, the operators themselves will complete the life-cycle of these installations by undertaking decommissioning and dismantling projects, the costs of which will be met at the time of performance. This responsibility is associated

horizontales con respecto al tipo de residuo a gestionar, como en los casos de Estados Unidos, Japón y Finlandia. Por otro lado, si consideramos cuáles de estas organizaciones son también responsables del desmantelamiento de las instalaciones y centrales nucleares, únicamente las organizaciones de Hungría, Bélgica, Dinamarca y España son responsables de esta área, que se constituye como uno de los retos a corto plazo.

SISTEMAS DE FINANCIACIÓN

Una aspecto muy específico relativo a la gestión segura de los residuos radiactivos es la escala temporal durante la que debe ser ejercida esta responsabilidad, que implica, necesariamente, la garantía de disponer de los recursos financieros adecuados para la realización de las acciones técnicas derivadas de esta gestión, de modo que se libere de cualquier tipo de responsabilidades y cargas a las generaciones futuras.

Esta responsabilidad, adquirida para los próximos decenios y siglos, exige de la definición de sistemas de financiación sólidos y eficientes frente a la evolución de los entornos económicos.

El compromiso ético enunciado se plasma en la aplicación del principio "el que produce, paga" para la gestión de los residuos radiactivos y el combustible gastado generados tanto por los grandes como por los pequeños productores. Los grandes productores incluyen a las centrales nucleares, las instalaciones asociadas a la minería del uranio, las de fabricación de elementos combustibles y las dedicadas al reproceso del combustible gastado. Los pequeños productores incluyen las aplicaciones en la industria, la medicina y la investigación.

El principio antes enunciado implica que los costes de la gestión de estos materiales, desde su recolección hasta su gestión final, son repercutidos, a lo largo de la fase de producción, a las organizaciones cuyas actividades los producen.

Tres criterios principales son tenidos en consideración en todos los casos:

- Liqueidez, como garantía de que las cantidades necesarias estarán siempre disponibles cuando sean

necesarias y que no se transferirán carga alguna a las generaciones futuras.

- Equidad, para asegurar que los productores de residuos pagan en proporción a los costes derivados de la gestión de los residuos por ellos producidos.
- Eficiencia, asegurando que los costes son reducidos en lo posible mediante una gestión correcta.

Estos materiales son producidos tanto durante la vida operativa de las dos categorías de instalaciones antes enunciadas, recibiendo el nombre de residuos de operación, como, y en grandes cantidades, durante la ejecución de los trabajos de desmantelamiento de estas instalaciones una vez que finalizan su producción.

En la mayoría de los casos nacionales, cada una de las tres corrientes mencionadas recibe un tratamiento singular en cuanto a la financiación de sus costes de gestión.

La financiación de la gestión de los residuos producidos por la aplicación de los radioisótopos a la investigación, la medicina y la industria no nucleoelectrónica es cubierta, generalmente, por sistemas de tarifas basados en la definición de categorías de residuos, según las características de los propios residuos y la valoración del coste asociado a la gestión de estos materiales. Existen casos nacionales en los que estas tarifas aplican el coste real de estos procesos y otros en los que, considerando el interés social de estas aplicaciones, estos costes son parcialmente subvencionados.

Las instalaciones nucleares asociadas, de un modo u otro, a la producción eléctrica producen, sustancialmente, la mayoría de los residuos de operación. Los residuos generados durante estos procesos responden a tipologías más complejas desde esta perspectiva, básicamente porque la gestión final de una parte de ellos no se llevará a cabo hasta transcurridos algunos decenios según la tecnología hoy disponible. Esta circunstancia y la aplicación, en diferentes modalidades e interpretaciones del principio antes enunciado, definen la necesidad de establecer sistemas de capitalización durante la fase productiva de estas instalaciones capaces

de cubrir los costes de gestión final que, normalmente, se incurrirán una vez éstas hayan completado su fase productiva.

La dotación de los recursos que se precisarán en el futuro se realiza tanto mediante la provisión anticipada de fondos por parte de los operadores de las centrales nucleares, de acuerdo con previsiones de costes y mecanismos legislativos nacionales, como mediante gravámenes, bien sobre la producción o sobre la venta de energía eléctrica, que, en ambos casos, son capitalizados por las organizaciones instituidas como responsables de su gestión financiera bajo la tutela, en la mayoría de los casos, de instituciones o comités gubernamentales.

En ambos casos, la gestión de estos recursos corresponde a las mismas organizaciones que son responsables de las actividades de carácter técnico. Sólo en algunos casos se ha constituido una organización con este fin específico. Éste es el caso del RWMC en Japón, quien es responsable de la gestión del fondo dotado para la gestión final de los residuos de alta actividad producidos en el ciclo. Como aspecto común a ambos casos, esta función es tutelada por los gobiernos correspondientes bien mediante sus propios ministerios competentes o a través de comités específicos.

Existe, sin embargo, una variada casuística en los esquemas adoptados por los diferentes países. Ésta es una consecuencia, no de un desacuerdo en cuanto el principio básico para la financiación de la gestión, sino fruto de las particulares circunstancias en cada uno de ellos y de la variedad de interpretaciones para la puesta en práctica del principio.

Un último aspecto a considerar, pero no menos relevante, es el tratamiento de los gastos de desmantelamiento y clausura de las instalaciones asociadas al ciclo del combustible nuclear. La problemática específica, desde el punto de vista económico, de esta actividad radica más en lo costoso de estos proyectos, por su intrínseca complejidad técnica, que en los umbrales temporales en los que esta actividad se lleva o llevará a cabo, visto que su ejecución puede ser ya completada desde el punto de vista técnico.

Sólo en unos pocos Estados se han constituido organizaciones diferenciadas de los operadores como responsables de esta función. Más frecuentemente, son los propios operadores quienes completarán el ciclo vital de estas instalaciones mediante la ejecución de los proyectos de clausura y desmantelamiento cuyos costes sufragarán íntegramente en el momento de su realización. Esta responsabilidad está asociada a la obligación de dotar, durante la fase de operación de cada instalación, las previsiones correspondientes para la financiación de esos gastos que finalmente se incurrirán varios decenios después.

MARCO LEGISLATIVO

La segunda mitad del siglo XX ha aportado una mayor sensibilidad hacia las vías por las que el medio ambiente se muestra como frágil y vulnerable a los daños causados por la actividad humana. Puesto que algunas partes del entorno humano, por ejemplo la atmósfera y los océanos, son compartidas por todas las naciones, deben ser establecidos controles o medidas de protección ambiental que deben ser aplicadas globalmente para ser efectivas. Este concepto ha orientado hacia la creación de un número de principios legales internacionales y compromisos dirigidos a la preservación del medio humano. Algunos de estos principios y compromisos han sido aplicados al control de los contaminantes medioambientales que incluyen a los residuos radioactivos.

Un número de estos principios de la legislación internacional medioambiental son particularmente relevantes en este contexto:

- Un primer principio es que los Estados son responsables de establecer las medidas precisas para controlar y regular las fuentes de una potencial contaminación global o un perjuicio transfronterizo dentro de su territorio o del sujeto a su jurisdicción.
- El segundo principio es que los Estados son invitados a colaborar con los otros Estados en la prevención de los riesgos transfronterizos.
- Otros dos principios son especialmente relevantes, los denomi-

with the obligation to provide the necessary funds during the operating phase of each installation, to finance these expenses that will be incurred several decades afterwards.

LEGISLATIVE FRAMEWORK

The second half of the 20th century has seen heightened sensitivity towards the fragility of the environment and its vulnerability to damage caused by human activity. Given that certain parts of the human environment, for example the atmosphere and the oceans, are shared by all nations, environmental controls or protection measures must be set up, and must be applied globally in order for them to prove effective. This concept has led to the creation of a number of international legal principles and Conventions aimed at preserving the human environment. Certain of these principles and Conventions have been applied to the control of environmental contaminants, including radioactive wastes.

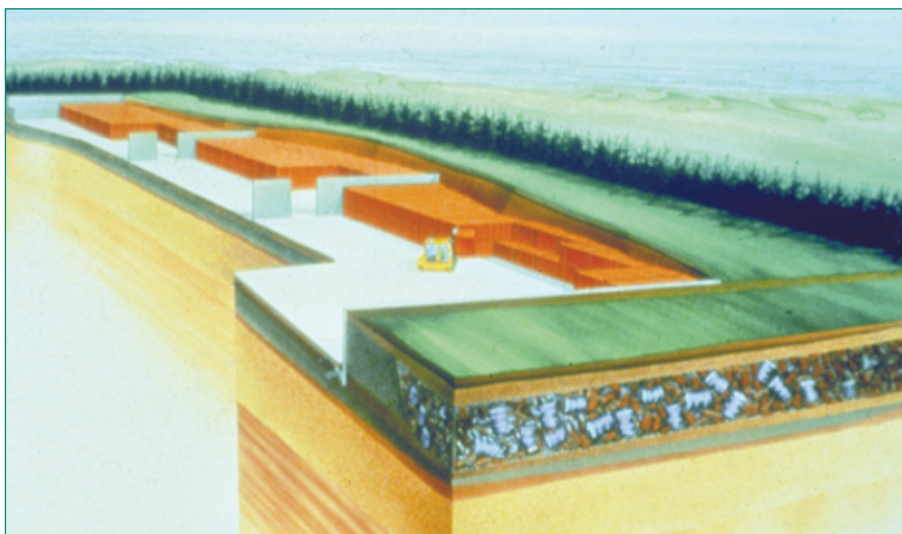
Some of these principles of the international environmental legislation are particularly relevant in this context:

- *The first principle is that the States are responsible for establishing the measures required to control and regulate the sources of potential global pollution or trans-frontier damage within their territories or in that subject to their jurisdiction.*
- *The second principle is that the States are invited to collaborate with the other States in the prevention of trans-frontier risks.*
- *Two other principles are especially relevant: the so-called "Who contaminates pays" principle and the principle of equality of access and non-discrimination in the treatment of the local and trans-frontier effects of contaminating activities. Both are fundamental bases of the recent development of the environmental legislation.*

These principles are applicable to the practice of nuclear activities and are reflected, in one way or another, in the specific Conventions on nuclear safety, such as the "Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management".

However, the international community aims to protect mankind and the environment from the harmful effects of radioactive wastes through the adoption of a further number of international agreements. These agreements deal with specific aspects or further develop the principles established by international environmental legislation.

The objective of the "Convention of London on dumping at sea" (1975) was to regulate procedures and prevent activities that might cause marine pollution, within the context of the habitual practice of dumping all types of wastes into the sea, including radioactive wastes. The London Convention prohibited and regulated the marine disposal of radioactive wastes. The ratification of the Convention established certain minimum standards to be adhered to by the parties and an international forum to control compliance. During the early years of the 1980's, the proposal made by an important number of signatory States to prohibit all types of dumping of radioactive wastes began to gain strength. In 1983, the Consultative Meeting of the Signatories adopted a voluntary moratorium regarding this issue, subject to a review of the safety of the practice. Finally, in 1993, the Consultative Meeting of the Signatories adopted the decision to prohibit the dumping at sea of all



Diseño del almacenamiento de RBA de Drigg (BNFL, R.U.).
Lay-out of Drigg LLW disposal facility (BNFL, U.K.)

types of radioactive wastes. The meeting also adopted the decision to prohibit the dumping at sea of all types of industrial wastes as from 1st January 1996.

Following the adoption of the prohibition on dumping at sea, the only remaining route by which the wastes might legally enter the marine environment is by the discharge of effluents to rivers and from coastal locations. The international legislation, as set out in the "United Nations Convention on Law at Sea", establishes the rights and obligations of the States and provides an international basis on which to develop the protection and sustainable development of marine and coastal ecosystems and their resources. According to this legislation, although the individual States have the sovereign right to exploit their natural resources in accordance with their respective environmental policies, the enjoyment of such rights must be in keeping with the references of the aforementioned Convention.

In practice, this means that waste discharges to the sea may be carried out, but that the States enjoying the benefits of sovereign rights regarding resources within an exclusive economic zone and continental shelf also have the responsibility to preserve the ecosystem within these areas.

In this same respect, the Guideline for the Protection of the Marine Environment against Pollution from Land Facilities" (Montreal Guideline, 1985) is a non-mandatory instrument promoted by the United Nations Environmental Programme. The Guideline includes a list of references for the development of bilateral, regional or multilateral agreements and also of national legislations.

In 1992, the obligation of the States to protect the marine environment was reaffirmed during the United Nations Conference on the Environment and Development. The Conference adopted three documents: the "Declaration of Rio on the Environment and Development", which consists of a declaration based on 27 principles, "Agenda 21", a document that explains the objectives and activities of forty programme areas, and the "Declaration of principles for worldwide consensus regarding the management, conservation and sustainable development of forest masses".

Chapter 22 of Agenda 21 refers specifically to the safe and environmentally friendly management of radioactive wastes. This chapter requests the States to

nados principio "quien contamina paga" y principio de la igualdad de acceso y no discriminación en el tratamiento de los efectos locales y transfronterizos de las actividades contaminantes. Ambos son bases fundamentales del reciente desarrollo de la legislación medioambiental.

Estos principios se aplican a las prácticas de las actividades nucleares y son, de un modo u otro, reflejados en las Convenciones específicas sobre seguridad nuclear, como la "Convención Conjunta sobre la Seguridad de la Gestión del Combustible Gastado y los sobre la Seguridad de la Gestión de los Residuos Radiactivos".

Sin embargo, la comunidad internacional pretende la protección de la humanidad y el medio ambiente de los efectos dañinos de los residuos radiactivos mediante la adopción de un número adicional de acuerdos internacionales. Estos acuerdos versan sobre aspectos específicos o desarrollan los principios establecidos bajo la legislación medioambiental internacional.

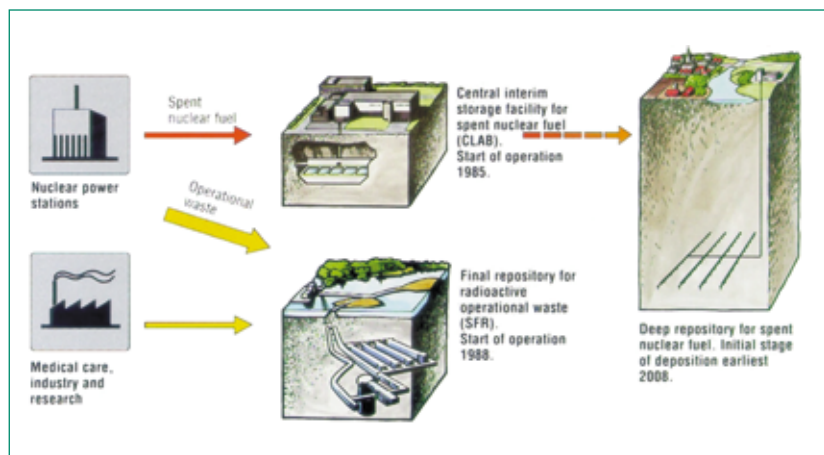
La "Convención de Londres sobre el vertido marino" (1975) tuvo por objeto regularizar los procedimientos y prevenir actividades que pudieran generar contaminación marina, en el contexto de la práctica habitual de vertido a los océanos de residuos de todo tipo, que también incluían los radiactivos. La Convención de Londres prohíbe y regula la disposición marina de residuos radiactivos. En su ratificación, la Convención establece unos estándares mínimos a cumplir por

las partes y un foro internacional para el control de su cumplimiento. En los primeros años de la década de los ochenta, fue tomando fuerza la propuesta de una parte importante de los Estados firmantes para la prohibición del vertido de todo tipo de residuos radiactivos. La Reunión Consultiva de las Partes firmantes adoptó en 1983 una moratoria voluntaria sobre esta cuestión, sujeta a una revisión de la seguridad de esta práctica. Finalmente, en 1993 la Reunión Consultiva de las Partes Contratantes adoptó la prohibición del vertido marino de todo tipo de residuos radiactivos. La reunión, también, adoptó la decisión de prohibir el vertido marino de todo tipo de residuos industriales a partir del 1º de enero de 1996.

Una vez que fue adoptada la prohibición de vertido de residuos al mar, la única vía restante por la que los residuos podrían legalmente entrar en el medio marino es por la descarga de efluentes a ríos y desde localizaciones costeras. La legislación internacional, tal y como se recoge en la "Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho en los Mares", establece los derechos y obligaciones de los Estados y proporciona una base internacional sobre la que fundamentar la protección y el desarrollo sostenible de los ecosistemas marinos y costeros y sus propios recursos. De acuerdo con esta legislación, si bien los Estados tienen el derecho soberano de explotar sus recursos naturales de acuerdo con sus políticas medioambientales, el disfrute de sus propios derechos deberá estar en consonancia con las referencias de la Convención referida.

En la práctica, esto supone que las descargas de residuos al mar pueden llevarse a cabo, pero que los Estados que disfrutan los beneficios de derechos de soberanía sobre los recursos dentro de una zona económica exclusiva y de plataforma continental también tienen otorgada la responsabilidad de preservar el ecosistema dentro de estas áreas.

En este mismo sentido, la "Guía para la Protección del Medio Marino frente a la Contaminación desde Instalaciones Terrestres" (Guía de Montreal, 1985) es un instrumento no mandatorio promovido por el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas.



Swedish Radioactive waste management scheme (SKB).

La Guía ofrece una lista de referencias para el desarrollo de acuerdos bilaterales, regionales o multilaterales y también de legislación nacional.

En 1992, la obligación de los Estados para la protección del medio marino fue reafirmada durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. La Conferencia adoptó tres documentos: La "Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo", que consta de una declaración de 27 principios, la "Agenda 21", documento que explica los objetivos y actividades sobre cuarenta áreas programáticas, y la "Declaración de los principios para el consenso global sobre la gestión, conservación y desarrollo sostenible de las masas forestales".

El capítulo 22 de la Agenda 21 se refiere específicamente a la gestión segura y medioambientalmente respetuosa de los residuos radiactivos. En este capítulo, se solicita a los Estados su colaboración y apoyo a los esfuerzos de la OIEA para desarrollar y promulgar referencias de seguridad o guías y códigos de conducta como una base internacionalmente aceptada para la gestión y almacenamiento definitivo de los residuos radiactivos.

El "Plan Global de Acción para la Protección del Medio Marino de las actividades terrestres" fue establecido en 1995 en la Conferencia intergubernamental organizada por el Programa de Medio Ambiente de Naciones

Unidas. El Plan está concebido para ser una fuente de referencias conceptuales y prácticas para autoridades nacionales o regionales en el diseño y desarrollo de acciones para prevenir, reducir, controlar o eliminar la degradación marina causada por actividades terrestres.

El esfuerzo armonizador normativo que lidera la OIEA ha sido completado con la entrada en vigor, aún reciente, de la "Convención Conjunta sobre la Seguridad de la Gestión del Combustible Gastado y los sobre la Seguridad de la Gestión de los Residuos Radiactivos", que se ha constituido como el principal acuerdo entre Estados relativo a este asunto específico.

Un número de otras Convenciones, las cuales no aplican directamente a los residuos radiactivos, tienen, también, implicaciones para su gestión. Como más relevantes debe mencionarse la "Convención sobre la Evaluación del Impacto Ambiental en un contexto transfronterizo" (Convención de Espoo de 1991), que establece un procedimiento de evaluación para actividades que potencialmente sean generadoras de un impacto adverso y significativo a nivel transfronterizo. Dado que debe realizarse este tipo de evaluación con carácter previo a la decisión para la autorización o inicio de una actividad, en virtud de esta Convención, el proceso consultivo permitirá la participación de las partes potencialmente afectadas. Un artículo de esta

colaborar con y proporcionar apoyo para los esfuerzos de la OIEA para desarrollar y promulgar referencias o guías y códigos de conducta como una base internacionalmente aceptada para la gestión y disposición de residuos radiactivos.

La "Global Action Plan for Protection of the Marine Environment against land activities" fue establecida en 1995 en la Conferencia intergubernamental organizada por el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas. Este Plan fue concebido como una fuente de referencias conceptuales y prácticas para autoridades nacionales o regionales en el diseño y desarrollo de acciones para prevenir, reducir, controlar o eliminar la degradación marina causada por actividades realizadas en tierra.

El esfuerzo de armonización de estándares liderado por la OIEA ha sido completado con la reciente entrada en vigor de la "Convención sobre la Seguridad de la Gestión del Combustible Gastado y la Seguridad de la Gestión de los Residuos Radiactivos", que ha sido constituida como el principal acuerdo entre Estados en relación con esta cuestión específica.

Un número de otras Convenciones no directamente aplicables a los residuos radiactivos también tienen implicaciones para su gestión. Una de las más relevantes, y digna de especial mención, es la "Convención sobre la Evaluación del Impacto Ambiental en un contexto transfronterizo" (Convención de Espoo de 1991), que establece un procedimiento de evaluación para actividades que potencialmente tengan un impacto significativo y adverso en el nivel transfronterizo. Dado que debe realizarse este tipo de evaluación con carácter previo a la autorización o inicio de una actividad, en virtud de esta Convención, el proceso consultivo permitirá la participación de las partes potencialmente afectadas. Un artículo de esta

Al evaluar la efectividad de los instrumentos internacionales mencionados anteriormente, se debe tener en cuenta que ciertas de estas actividades no son de naturaleza obligatoria, y que otras que son legalmente vinculantes no incluyen mecanismos para la aplicación de sanciones. Estos instrumentos operan básicamente mediante la aplicación de "presiones entre las partes", como es habitualmente el caso en las reuniones de las Partes Contratantes. De una u otra manera, es bastante claro que un proceso que permita la aplicación de criterios progresivamente más restrictivos para estas actividades, tal que la gestión segura de estos materiales sea incluso más efectivamente garantizada, es realmente efectiva.

TECHNICAL SOLUTIONS

La cantidad de residuos generados por cada país varía dependiendo de la cantidad de electricidad generada por medios nucleares, la existencia o no de armas nucleares, el desarrollo tecnológico (que determina el uso médico o industrial de radioisótopos), la explotación de minas de uranio y actividades pasadas.

However, regardless of the origin and volumes of the wastes, each State is required to establish a system for the management of its radioactive wastes in a safe, economic and environmentally and socially acceptable manner. This management system must meet the following requirements:

- Identification of both the organisations involved in management and the waste producers and their responsibilities.
- Identification of the radioactive wastes, their origin, location, content and physiochemical characteristics.
- Control of waste generation
- Identification of the methods and installations used for treatment, temporary storage and definitive disposal and of the interdependence of the different management steps.
- Suitability of the research and development activities providing support for operational and regulatory needs.
- Establishment and suitability of the essential financial and human resources in all steps of management.

The steps of radioactive waste management that cover from generation to disposal are segregation, removal, treatment, conditioning, transport and storage. The characterisation of the wastes, their temporary storage and transport may take place at any time within each step or between them. The final step is the definitive disposal of the wastes.

The management strategy is established in each country and for each type of radioactive waste as a combination of these steps. There is, therefore, a wide variety of strategies if the different technological processes, storage times and disposal options are taken into account. In turn it is necessary to underline the difference in the degree of development and implementation of the concepts, methods and technologies for the final management of each waste type.

In view of the problem associated with radioactive waste management, the international organisations set up standing working groups and permanent committees to promote the exchange of experiences and information and co-operation among their Members, programmes that remain in force today. In Europe, the Framework Research and Development Programmes established since the beginning of the 1970's by the European Commission in the field of radioactive waste management and definitive disposal have been, and continue to be, of special relevance. The objectives of these five-year programmes have varied as technical solutions have been developed and commercialised. At present, the research programmes focus on the final management of long-lived wastes.

Low and intermediate level short-lived wastes

Short-lived low and intermediate level wastes (LILW), which are generally those that contain radionuclides with half-lives of up to 30 years, vary considerably in both their composition and properties. At present different technologies and installations for the treatment, conditioning, temporary storage and disposal of short-lived wastes exists and are in use.

The disposal concepts used for these wastes are mainly three: trenches, with or without engineered barriers (in the United States and Great Britain), near-surface disposal with engineered barriers (in France, Spain and Japan) and disused mines or cav-

Convenión identifica varios tipos de instalaciones nucleares, entre las que se encuentran aquellas cuya finalidad es el tratamiento y almacenamiento de residuos radiactivos, como sujetas a este procedimiento.

La "Convenión sobre el acceso a la información, la participación pública en el proceso de toma de decisiones y el acceso a la justicia en materias medioambientales" (Convenión de Aarhus de 1998) es otra Convenión regional mediante la que los Estados signatarios se comprometen a facilitar el acceso a la información y a la participación pública en la toma de decisiones en cuestiones relacionadas con el medio ambiente.

En una valoración de la efectividad de los instrumentos internacionales mencionados anteriormente, debe tenerse presente que algunos de estos compromisos no tienen naturaleza mandataria, mientras que otros legalmente obligatorios carecen de mecanismos sancionadores. Más bien estos instrumentos trabajan por la aplicación de "presión entre partes", habitualmente aplicada en las reuniones de las Partes Contratantes. En todo caso, es evidente la efectividad del proceso que permite la aplicación de criterios progresivamente más restrictivos a estas actividades de modo que se garantice de un modo, aún más efectivo, la gestión segura de estos materiales.

SOLUCIONES TÉCNICAS

La cantidad de residuos que genera cada país varía en función de la cantidad de energía eléctrica de origen nuclear producida, de la existencia de armamento nuclear, del desarrollo tecnológico (que determina el uso médico e industrial de radioisótopos), de la explotación de minas de uranio y de actividades pasadas.

Pero, sea cual sea el origen y los volúmenes, cada Estado debe establecer un sistema para gestionar sus residuos radiactivos de una forma segura, económica y aceptable desde el punto de vista medioambiental y social. Este sistema de gestión ha de cumplir los siguientes requisitos:

- Identificación tanto de los organismos involucrados en la gestión como de los productores de residuos y sus responsabilidades.
- Identificación de los residuos radiactivos, su origen, localización,

contenido y características físico-químicas.

- Control de la generación de residuos.
- Identificación de los métodos e instalaciones de tratamiento, almacenamiento temporal y definitivo así como de la interdependencia entre los distintos pasos de la gestión.
- Adecuación de las actividades de investigación y desarrollo soporte de las necesidades operacionales y reguladoras.
- Establecimiento y adecuación de recursos tanto financieros como humanos esenciales en todos los pasos de la gestión.

Los pasos en la gestión de los residuos radiactivos que llevan desde la generación hasta el almacenamiento final son segregación, recogida, tratamiento, acondicionamiento, transporte y almacenamiento. La caracterización de los residuos, el almacenamiento temporal y el transporte pueden tener lugar en cualquier momento tanto dentro de cada paso como entre ellos. El último paso es el almacenamiento definitivo de los residuos.

La estrategia para su gestión se establece en cada país y para cada tipo de residuos radiactivos como una combinación de estos pasos. Existe, por tanto, una amplia variedad de estrategias si se tienen en cuenta los procesos tecnológicos, tiempos de almacenamiento y opciones de depósito. A su vez hay que destacar la diferencia en el grado de desarrollo e implementación de conceptos, métodos y tecnologías para la gestión final de cada tipo de residuo.

Las organizaciones internacionales, haciéndose eco del problema asociado a la gestión de los residuos radiactivos, organizaron grupos de trabajo y comités permanentes para fomentar el intercambio de experiencias y de información así como la cooperación entre sus miembros, programas que siguen vigentes al día de hoy. Especial relevancia para el entorno europeo han tenido, y siguen teniendo, los Programas Marco de Investigación y Desarrollo, que desde principios de los años 1970 ha establecido la Comisión Europea en el campo de la gestión y almacenamiento definitivo de los residuos radiactivos. Los objetivos de estos programas quinquenales han ido variando según las soluciones técnicas iban desarrollándose y comercializándose. Actualmente, los

proyectos de investigación se centran en la gestión final de los residuos de vida larga.

Residuos de baja y media actividad y de vida corta

Los residuos de baja y media actividad (RBMA) de vida corta, generalmente aquellos conteniendo radionucleidos de periodos de semidesintegración de hasta 30 años, varían mucho tanto en composición como en propiedades. Actualmente existen y están en uso distintas tecnologías e instalaciones para el tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento temporal y definitivo de los residuos de vida corta.

Los conceptos de depósitos empleados para estos residuos son, principalmente, tres: trincheras, con o sin barreras de ingeniería (en Estados Unidos y Reino Unido), almacenamiento con barreras de ingeniería cerca de superficie (en Francia, España y Japón) y antiguas minas o en cavernas (en Suecia y Alemania). Todos los conceptos se basan en la idea de aislar al residuo del medio ambiente y del hombre durante el tiempo suficiente como para liberar el emplazamiento de cualquier tipo de restricción. Los componentes de estos depósitos, sobre todo en el de cerca de superficie que es el más extendido, son:

- el bulto o residuo acondicionado, incluyendo las propiedades físico-químicas del residuo sólido o solidificado, las características del material de inmovilización, si tiene, y del comportamiento del contenedor;
- el depósito en sí mismo, es decir, las estructuras o barreras de ingeniería;
- la geología del emplazamiento.

Cuanto mayor es la concentración de radioisótopos de vida larga a almacenar definitivamente tanto más complejo será el sistema de almacenamiento definitivo. La eficiente combinación de estas tres barreras es la clave para asegurar la contención de la radiactividad durante la operación y después del cierre del depósito y en caso de algún incidente razonable asegurar que las consecuencias son aceptablemente bajas.

La seguridad de un depósito ha

de ser valorada en la fase de operación y en la post-operacional. Una evaluación de la seguridad consiste en una estimación del comportamiento global del sistema en situaciones seleccionadas, una evaluación del grado de fiabilidad de esas estimaciones y una evaluación del cumplimiento de los criterios de seguridad. Estas evaluaciones de la seguridad permiten derivar los requisitos para los residuos. Durante la fase operacional, estos requisitos son en general de carácter práctico considerando la manipulación de los bultos, por ejemplo, estandarizando la geometría de los bultos, la dosis en la superficie, propiedades mecánicas, etc. Sin embargo, durante la fase post-operacional, los requisitos derivados se basan en las propiedades que hay que imponer a los bultos para controlar la liberación de radionucleidos, sobre todo aquellos de período de semidesintegración más largo.

De todo esto se deduce la importancia que el conocimiento del contenido de los residuos a acondicionar y las técnicas de acondicionamiento empleadas tiene para, primero, identificar el mejor concepto de depósito definitivo para esos bultos y, segundo, para asegurar el buen comportamiento del depósito en su conjunto y, por lo tanto, la seguridad para el hombre y su entorno.

Los tratamientos más comunes que reciben este tipo de residuos se basan en la reducción de volumen por un lado y en la inmovilización por otro. En cuanto a la reducción de volumen, el corte, la trituración, la compactación o incineración son los métodos más utilizados dependiendo de las características de los residuos. Para la inmovilización, las matrices más comunes son de cemento o de asfalto, sometidas a un riguroso control de componentes y de proceso para cumplir con los requisitos de confinamiento y durabilidad exigidos.

Actualmente, la investigación en esta área se centra en la mejora de las técnicas de ensayos destructivos y no destructivos de los bultos para la mejor caracterización de los residuos radiactivos a almacenar.

Teniendo en cuenta que la mayor parte de los residuos radiactivos

erns (in Sweden, Finland and Germany). All of these concepts are based on the idea of isolating the wastes from the environment and mankind for a sufficient period of time to be able to free the site from any type of restriction. The components of these facilities, especially the near-surface installation that is the most widespread, are as follows:

- the conditioned waste or waste package, including the physiochemical properties of the solid or solidified waste, the characteristics of the immobilisation material, where appropriate, and the behaviour of the container.
- the repository itself, i.e. the engineered barriers or structures.
- the geology of the site.

The higher the concentration of long-lived radioisotopes to be disposed of, the more complex the definitive disposal system. The efficient combination of these three barriers is the key to ensuring the containment of the radioactivity during operation and following closure of the facility, and in the event of a reasonable event to ensuring that the consequences will be acceptably low.

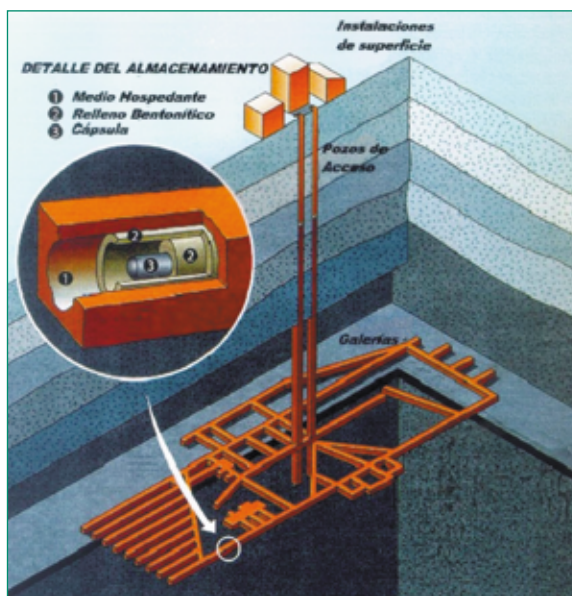
The safety of a repository has to be assessed during both the operating and post-operational phases. A safety assessment consists of estimating the overall behaviour of the system in selected situations, evaluating the degree of reliability of these estimates and evaluating compliance with the safety criteria. These safety assessments allow requirements to be applied to the wastes to be derived. During the operational phase these requirements are generally of a practical nature with consideration given to the handling of the waste packages, for example standardisation of waste package geometry, surface dose, mechanical properties, etc. During the post-operational phase, however, the requirements derived are based on the properties to be imposed upon the packages to control the release of radionuclides, especially those having longer half-lives.

From the above it is simple to deduce the importance of knowledge of the contents of the wastes to be conditioned and of the conditioning techniques used, first to identify the best disposal concept for these packages and second to ensure the correct performance of the repository overall, and therefore the safety of mankind and the environment.

The most common types of treatment given to this type of wastes are based on volume reduction, on the one hand, and on immobilisation, on the other. As regards volume reduction, cutting, crushing, compacting and incineration are the most widely used methods, depending on the characteristics of the wastes. For immobilisation, the most common matrices are cement and asphalt, subject to rigorous control of both components and the process in order to ensure compliance with the confinement and durability requirements applied.

At present research in this area centres on improving the destructive and non-destructive techniques applied to the packages for better characterisation of the radioactive wastes to be disposed of.

Bearing in mind that most of the radioactive wastes generated in a country are of this category, a reduction in volume and production means an economic saving in their management. In recent years there has been an international trend to promote waste volume reduction at the site of origin, basically through improving segregation techniques, and to



Esquema conceptual de un almacenamiento geológico profundo (AGP).

Conceptual lay-out for a deep geological repository.

take maximum advantage of the storage facilities currently in operation, as regards both volume and activity.

The main reason for this trend is that, due mainly to the dismantling of the first nuclear power plants that entered into the operating phase, a large amount of very low activity wastes will be generated and require adequate management, this including the establishment of declassification limits or the definition of values above which the wastes will have to be managed through storage in facilities with engineered barriers. Thus, for example, in France a specific facility for very low level wastes is being constructed, not only those from nuclear power plant dismantling but also those from industrial activities and contaminated with natural radionuclides.

The dismantling of nuclear installations is an aspect of the back-end of the cycle that has become increasingly important in recent years. Although it does not represent a major problem from the technical or technological point of view, a decommissioning and dismantling plan has to take into account other aspects, such as the social and economic. It is also important to underline that in order to undertake a dismantling plan it is necessary to take into account the installations required for the storage of existing radioactive and conventional wastes, the technological development of the country and the availability of funds for financing of the project.

Long-lived and high level wastes

According to the waste classification proposed by the IAEA, the final destination of both long-lived low and intermediate level wastes and high level wastes is deep geological disposal. For this reason, they will be dealt with together in this article.

Unlike short-lived radioactive wastes, the final management of this type remains without a definitive solution anywhere in the world, except in the United States, where the long-lived wastes arising from the country's defence programme are disposed of in a deep geological facility known as the WIPP, which entered operation in 1999. Since the very beginning of waste management programmes (by the end of

que se genera en un país es de esta clase, una reducción de volumen y de producción supone un ahorro económico en la gestión de dichos residuos. En los últimos años existe una tendencia internacional, por un lado, a fomentar la reducción en origen del volumen de residuos, básicamente mediante la mejora de las técnicas de segregación y, por otro, a aprovechar al máximo la capacidad, tanto en volumen como en actividad, de los almacenamientos actualmente en operación.

La razón principal de esta última tendencia es que, debido principalmente al desmantelamiento de las primeras centrales nucleares que entraron en operación, se van a generar un gran número de residuos de muy baja actividad que han de ser gestionados adecuadamente, estableciendo límites de desclasificación o definiendo los valores por encima de los cuales se deben gestionar en un almacenamiento con barreras de ingeniería. Así, por ejemplo, en Francia se está construyendo un almacenamiento específico para residuos de muy baja actividad, no sólo los que procedan del desmantelamiento de centrales sino también para aquellos residuos de actividades industriales contaminados con radionucleidos naturales.

El desmantelamiento de instalaciones nucleares es un aspecto de la última parte del ciclo que está adquiriendo importancia en los últimos años. Aunque desde el punto de vista técnico y tecnológico no representa un gran problema, un plan de clausura y desmantelamiento ha de tener en cuenta otros aspectos como son el social y el económico. También es importante destacar que para llevar a cabo un plan de desmantelamiento es necesario tener en cuenta las instalaciones de almacenamiento de residuos tanto radiactivos como convencionales existentes, el desarrollo tecnológico del país, y el fondo disponible para la financiación del proyecto.

Residuos de vida larga y residuos de alta actividad

Según la clasificación de residuos propuesta por el OIEA, tanto los residuos de baja y media actividad de vida larga como los de alta actividad tienen por destino final el almacenamiento geológico profundo. Por este motivo, vamos a tratarlos conjuntamente en este artículo.

A diferencia de los residuos radiactivos de vida corta, la gestión final de este tipo de residuos sigue sin estar solucionada en ningún país del mundo, salvo en Estados Unidos para residuos de vida larga provenientes de su programa de defensa que se almacenan en un almacenamiento geológico profundo llamado WIPP y que entró en operación en 1999. Desde los inicios de los programas de gestión de residuos (a finales de los años 1950, los Estados Unidos estaban realizando los primeros estudios de búsqueda de soluciones a la gestión final de los residuos nucleares), el almacenamiento en formaciones geológicas estables y a profundidad ha sido considerado como la opción más prometedora y, con los años, la mejor opción, tanto desde el punto de vista de seguridad a largo plazo como desde el punto de vista ético. Este consenso de los expertos ha sido recogido en distintos estudios e informes de organismos internacionales, como la AEN y la UE, y de organizaciones nacionales, como el Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos.

El almacenamiento geológico profundo está diseñado para aislar los residuos del entorno natural y del hombre durante largos periodos de tiempo, gracias al uso de barreras de ingeniería y al medio geológico escogido, que retardan o previenen la migración de los radionucleidos desde el propio residuo. La caracterización geológica del emplazamiento ha de permitir resolver al máximo las incertidumbres sobre el comportamiento seguro del sistema de depósito a largo plazo. Demostrar técnicamente su seguridad es todavía una asignatura pendiente en la que se sigue trabajando tanto internacionalmente, a través de los programas de investigación y de-

sarrollo, como en los programas nacionales.

Es importante destacar la importancia que ha ido adquiriendo el aspecto ético, social y político de la gestión de los residuos radiactivos, ya que aunque se cuenta con el consenso de los expertos sobre esta solución, no es así en el campo social o político, lo que ha llevado a la mayoría de los programas de gestión a un retraso respecto a los planes iniciales para la selección de emplazamientos. Sin embargo, para ilustrar la situación de los programas nacionales y las últimas decisiones tomadas en el último año, se puede indicar lo siguiente:

- En Alemania, se han interrumpido los trabajos de exploración en el domo salino de Gorleben, y se está llevando a cabo una revisión del programa en su totalidad, que incluye el desarrollo de los criterios para la selección de emplazamientos.
- Francia tiene que preparar su proceso de toma de decisiones para el año 2006 sobre el futuro desarrollo de su programa de "Tres ejes" (Tecnologías de Separación y Transmutación, almacenamiento a largo plazo, almacenamiento definitivo). El laboratorio subterráneo en roca de Bure ha entrado en la fase de construcción.
- En los EE.UU., el proyecto de Yucca Mountain ha entrado en la fase de consideración de recomendaciones relativas al emplazamiento. También, se prevé el proceso de renovación de la licencia de la planta piloto de aislamiento de residuos (WIPP) en los próximos tres años.
- En Finlandia, el Parlamento ha tomado una decisión preliminar sobre un repositorio geológico en Eurajoki, dando paso al futuro desarrollo del programa.
- En Suecia, se ha dado luz verde para que el programa de almacenamiento definitivo del combustible gastado pase a investigaciones en dos emplazamientos candidatos.
- En Japón, se ha creado una organización para la implantación y se ha reorganizado la estructura administrativa con vistas a avanzar a la fase de selección de un emplazamiento.

- En Bélgica, se ha alcanzado un importante hito en el programa con la finalización del informe SAFIR.

- En Canadá, se implantará un nuevo marco para la gestión de los residuos radiactivos, basado en una nueva legislación.

El aspecto ético de la gestión de los residuos radiactivos se basa, por un lado, en no imponer obstáculos a las futuras generaciones por actividades o prácticas actuales de las que se ha obtenido un beneficio y que les impidan beneficiarse de los recursos de la Tierra (lo que ha venido a denominarse desarrollo sostenible), y, por otro, en adoptar una solución consensuada con todas las partes involucradas en la toma de decisiones. En el caso de este tipo de residuos, cuya radiactividad, y por tanto riesgo, va a durar varios miles de años, los principios éticos que deben guiar la selección de una estrategia son:

- las responsabilidades futuras han de ser tenidas en cuenta cuando se desarrollen nuevos proyectos
- quien genera los residuos debe asumir o suministrar los recursos necesarios para su gestión sin dejar cargas indebidas a las generaciones futuras
- los residuos han de ser gestionados de forma que asegure una adecuada protección de la salud pública y del entorno ahora y en un futuro
- la estrategia de gestión no ha de basarse en la presunción de una estructura social estable en un futuro indefinido ni unos posibles avances tecnológicos.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, la tendencia actual en la mayoría de los países con programas de gestión para este tipo de residuos es la de revisar la política, no en el fin último de la gestión pero sí su contenido tanto en la programación temporal como en la definición de fases en las que es necesario una toma de decisiones. Es lo que se está denominando una aproximación paso a paso ("stepwise approach"). Ésta es la situación en países como Reino Unido, Alemania o Canadá. El proceso de consulta pública, entendiendo éste como hacer partícipes a todos los orga-

the 1950's the United States was already carrying out the first studies in search of solutions for the final management of nuclear wastes), disposal in stable geological formations at great depth has been considered the most promising option and, over the years has also come to be seen as the best option from the point of view of long-term safety and ethics. This consensus among experts has been reflected in various studies and reports issued by international organisations such as the NEA and the EU, as well as by national organisations such as the US National Research Council.

Deep geological disposal facilities are designed to isolate wastes from the natural environment and from mankind over long periods of time, thanks to the use of engineered barriers and to the geological medium selected, which delays or prevents the migration of radionuclides from the wastes. The geological characterisation of the candidate site must allow for maximum resolution of uncertainties regarding the safe performance of the disposal system in the long term. The technical demonstration of the safety of this option is still a pending issue on which work continues at both international level, through research and development programmes, and through national programmes.

It is important to underline the increasing importance that the ethical, social and political aspects of radioactive waste management. Although there is consensus among the experts as regards this solution, this is not the case at social or political level, for which reason most management programmes have undergone delays with respect to the initial site selection plans. The following illustrates the situation of the national programmes and the decisions taken during the last year:

- *In Germany, exploration work has been interrupted at the saline dome in Gorleben, and the overall programme is being revised, including the development of site selection criteria.*

- *By the year 2006, France has to prepare its decision-making process regarding the future development of its "Three axis" programme (Separation and Transmutation technologies, long-term storage, definitive disposal). The underground rock laboratory at Bure has entered the construction phase.*

- *In the United States, the Yucca Mountain project has entered the phase of consideration of recommendations regarding the site. The licence for the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) is expected to be renewed within the next three years.*

- *In Finland, the Parliament has taken a preliminary decision regarding a geological repository at Eurajoki, thus paving the way for the future development of this programme.*

- *Sweden has given the go ahead for the spent fuel definitive disposal programme to move on to the research phase at two candidate sites.*

- *The organisation NUMO organisation has been created in Japan for implementation and the administrative structure has been re-organised with a view to moving on to the site selection phase.*

- *In Belgium an important programme milestone has been reached with completion of the SAFIR report.*

- *In Canada a new framework will be implemented soon for radioactive waste management, based on new legislation already in force.*

The ethical aspect of radioactive waste management is based, on the one hand, on not imposing obstacles upon future generations as a result of current practices or activities from which a benefit has

been obtained and not preventing them from also benefiting from the Earth's resources (what has come to be known as sustainable development) and, on the other, on adopting a solution agreed to by all those involved in decision-making. In the case of this type of wastes, whose radioactivity, and consequently risk, will last for thousands of years, the ethical principles guiding the selection of a strategy are as follows:

- Future responsibilities must be taken into account when developing new projects;
- Whoever generates the wastes must assume or supply the resources required for their management, without leaving undue burdens for the generations of the future;
- The wastes must be managed in a way that ensures adequate protection for public health and the environment, now and in the future;
- The management strategy must not be based on the assumption of a stable social structure in the indefinite future or on possible technological progress.

Taking all these aspects into account, the current trend in most countries with management programmes for this type of waste is to review the policy, not as regards the ultimate objective of management but in relation to the programme contents regarding temporary scheduling and the definition of phases in which decisions are to be made. This is what has come to be known as the stepwise approach. This is the situation in countries such as Great Britain, Germany and Canada. The process of public consultation, understood as allowing all the organisations or bodies involved to participate in defining and implementing a long-term management policy, is a fundamental component without which the implementation of a definitive solution would be extremely difficult. In this respect, the supranational organisations have taken up the gauntlet of this problem and in the last two years have set up a series of workshops, seminars and groups that include the participation not only of experts in radioactive waste management but also of representatives of other organisations or local administrations. The NEA is one of the most important forums in relation to high level waste management and is an international point of reference.

This new approach implies the search for possible realistic alternatives providing the option of choosing between two or more alternatives. In this respect many countries continue to study new technologies aimed at reducing the hazardous nature of long-lived radionuclides, through the processes of separation and transmutation (reduction of the number of long-lived radionuclides) or by extending the period of use of temporary storage facilities. The description of these options will serve as a basis for the evaluation of alternatives but in short will be the first steps towards the final solution, a deep geological repository.

PERSPECTIVES

Radioactive waste management is an open issue that is in a process of evolution. Since the very beginning international collaboration has proved to be of great importance for its development and implementation in each country, not only as regards the search for, development and application of management techniques but also for the establishment of a more adequate organisational, legislative and financial framework, taking into account the number and type of waste producers and the perspectives for development of nuclear cycle technology.

nismos o entidades involucradas, para la definición de la política de gestión a largo plazo y su desarrollo, es una parte fundamental sin la cual se hace muy difícil llegar a implantar una solución definitiva. En este sentido, las organizaciones supranacionales han hecho suyo este problema y en los dos últimos años han creado una serie de talleres, seminarios y grupos en los que participen no sólo los expertos en materia de gestión de residuos radiactivos sino representantes de otras organizaciones o administraciones locales. La AEN es uno de los foros más importantes en materia de gestión de residuos de alta actividad y supone una referencia internacional.

Este nuevo enfoque supone una búsqueda de posibles alternativas realistas que den la opción de escoger entre dos o más alternativas. Para ello en muchos países se siguen estudiando nuevas tecnologías de reducción de la peligrosidad de los radionucleidos de larga vida por los procesos de separación y transmutación (reducción del número de radionucleidos de vida larga), o extendiendo en el tiempo la utilización de los almacenamientos temporales. La descripción de estas opciones servirá de base para la evaluación de alternativas, pero, en definitiva, constituirán los primeros pasos hacia la solución final, un almacenamiento geológico profundo.

PERSPECTIVAS

La gestión de residuos radiactivos es un tema abierto y en evolución, en el que la colaboración internacional ha demostrado, desde un principio, ser muy importante para su desarrollo e implantación en cada país, no sólo en la búsqueda, desarrollo y aplicación de técnicas de gestión sino en el establecimiento del marco organizativo, legislativo y financiero más adecuado teniendo en cuenta número y tipo de productores de residuos y perspectivas de desarrollo de la tecnología del ciclo nuclear.

Esta colaboración internacional como se ha visto ha permitido desarrollar normas, estándares y guías de seguridad en distintos

campos de la gestión empezando por los principios generales de un sistema de gestión de residuos radiactivos. También este acuerdo entre países se ha ido plasmando en la firma de distintas convenciones, la última de ellas sobre gestión segura del combustible gastado y sobre la gestión segura de los residuos radiactivos.

La perspectiva futura pasa por una mayor aproximación de los marcos regulador, organizativo (en cuanto a distribución clara de responsabilidades) y de financiación de los países cumpliendo los criterios éticos internacionalmente aceptados.

En cuanto a los programas nacionales de gestión de residuos radiactivos, la perspectiva futura se basa en, por un lado, incrementar la cooperación internacional no sólo intercambiando información técnica sino las experiencias en la concepción y desarrollo del programa de gestión en sí y del marco regulador a aplicar y, por otro lado, en plantear y desarrollar un sistema de gestión que obtenga el apoyo social y político necesario para su implantación.

Conviene destacar en este punto como referencias internacionales dos documentos en los que, basándose en la situación actual y el progreso conseguido, reflejan una serie de acciones a realizar o recomendaciones a tener en cuenta en un futuro. El primero de estos documentos es un informe preparado por el OIEA a raíz de las conclusiones a las que se llegó en la Conferencia sobre Seguridad en la Gestión de Residuos Radiactivos, celebrada en Córdoba (España) del 13 al 17 de marzo de 2000. Este informe, presentado a la Junta de Gobernadores, enumera unas acciones con el objetivo de reforzar el trabajo del Organismo para mejorar la seguridad de la gestión de los residuos radiactivos, reflejando en sus actividades y programas estas nuevas prioridades o aspectos. Estas acciones son:

- Desarrollar un marco común de estándares y normas de seguridad para la gestión de todas las clases de residuos.
- Desarrollar un enfoque aceptado y armonizado internacional-

mente para controlar la liberación de materiales y emplazamientos del sistema regulador (clarificando los términos de exclusión, exención y desclasificación).

- Desarrollar un programa estructurado y sistemático para asegurar la aplicación adecuada de los estándares de seguridad del OIEA.
- Explorar los medios para garantizar la transferencia del conocimiento y la información sobre la gestión de residuos radiactivos a las generaciones futuras.
- Desarrollar un programa de trabajo estructurado en fases enfocadas a considerar la dimensión social de la gestión de los residuos radiactivos, incluyendo el mecanismo apropiado para evaluar tanto el programa en sí como su adecuación y progreso.
- Evaluar las implicaciones en la seguridad de un almacenamiento temporal a largo plazo y las posibles necesidades de reacondicionamiento de los residuos.
- Desarrollar normas de seguridad para el almacenamiento geológico profundo, teniendo en cuenta lo siguientes aspectos: intrusión humana, control institucional, recuperabilidad y contenido de la evaluación de seguridad.

El segundo de estos documentos fue publicado este año por el Consejo de Investigación Nacional de Estados Unidos. Este organismo estadounidense organizó una Conferencia Internacional sobre Disposición de RAA y Combustible Gastado: El continuo reto técnico y social ("International Workshop on Disposition of HLW through Geological Isolation Development, Current Status, and Technical and Policy Challenges"), en noviembre de 1999 para realizar un estudio sobre los problemas y retrasos en los programas nacionales de gestión de residuos de alta actividad a nivel nacional. Este estudio recoge las conclusiones y recomendaciones a las que llegaron. Las principales recomendaciones son:

- Las organizaciones responsables de la gestión de residuos de alta actividad, junto con las comunidades científica y técnica (incluyendo ciencias sociales), han de liderar y apoyar la

búsqueda de soluciones para la gestión de los residuos nucleares. Es una responsabilidad técnica, social y ética de la sociedad actual asegurarse de que se están tomando los pasos para generar opciones, comprender sus implicaciones e involucrar al público en la elección.

- Los programas nacionales deben implantar procesos que involucren al público en la toma de decisiones sobre la seguridad, lo que implica asegurar, por un lado, la existencia de opciones y, por otro, la disponibilidad de adecuados recursos para todo el proceso hasta la gestión final. Deben dar el peso adecuado a todos los aspectos de la gestión, técnico, económico, social y ético. Los criterios y procesos para la toma de decisiones han de establecerse y acordados a priori entre las partes.
- El avance de los programas debe de ser por fases, apoyándose en el diálogo y el análisis tanto por razones técnicas como sociales, dando así a los programas un cierto grado de flexibilidad y adaptación. Los programas deben por tanto partir de un estudio de alternativas realistas que soportará la posterior evaluación de las mismas y el camino hacia el almacenamiento definitivo. Uno de estos pasos puede ser la construcción de laboratorios subterráneos de investigación.
- Los programas nacionales deben continuar con el intercambio de información y cooperación internacional en el campo técnico así como intensificar esta cooperación en el campo de las estrategias y políticas.
- Sistemas basados en el riesgo, comprensibles e integrados para garantizar la seguridad de las instalaciones de almacenamiento, tanto temporal como definitivo, deben considerarse en el desarrollo del programa de gestión y de su componente reguladora.

Como conclusión a todo lo expuesto cabría destacar que el avance hacia la gestión final de todas las clases de residuos conlleva el compromiso de toda la sociedad, políticos, reguladores, productores y gestores, para poder disponer de los recursos humanos, técnicos y económicos necesarios.

As has been seen, this international collaboration has made it possible to develop safety standards and guides in many fields of management, beginning with the general principles of a radioactive waste management system. This agreement among nations has also been reflected through the signing of different conventions, the last dealing with the safe management of spent fuel and radioactive wastes.

The perspectives for the future must be based on a greater approximation of the frameworks for regulation, organisation (as regards the clear distribution of accountabilities) and financing of the different countries, in compliance with internationally accepted ethical criteria.

In relation to the national radioactive waste management programmes, future perspectives must be based, on the one hand, on increasing international cooperation, not only as regards the exchange of information but also the sharing of experiences in the design and development of the management programme itself and of the regulatory framework to be applied and, on the other, on the proposal and development of a management system enjoying the social and political support required for implementation.

Two documents should be underlined at this point as international references. Based on the current situation and on the progress made, these documents reflect a series of actions to be performed or recommendations to be taken into account in the future. The first of these documents is a report prepared by the IAEA in the wake of the conclusions drawn during the Conference on the Safety of Radioactive Waste Management, held in Córdoba (Spain) from 13th to 17th March 2000. This report, submitted to the Board of Governors, lists a series of actions aimed at reinforcing the work of the Organisation to improve the safety of radioactive waste management, reflecting these new priorities or aspects in its activities and programmes. These actions are as follows:

- *Development of a common framework of safety standards for the management of all types of wastes.*
- *Development of an internationally accepted and harmonised approach to control the exemption of materials and sites from the regulatory system (clarifying the terms exclusion, exemption and declassification).*
- *Development of a structured, systematic programme to ensure the adequate application of the IAEA safety standards.*
- *Exploration of means to guarantee the transfer of knowledge and information on radioactive waste management to the generations of the future.*
- *Development of a working programme structured into phases and aimed at considering the social dimension of radioactive waste management, including an adequate mechanism for evaluation of both the programme itself and its suitability and progress.*
- *Evaluation of the safety implications of a long-term temporary storage facility and the possible needs for waste re-conditioning.*
- *Development of safety standards for deep geological disposal, taking into account the following aspects: human intrusion, institutional control, recoverability and the content of safety assessments.*

The second of these documents was published this year by the United States National Research Council. In November 1999, this US organisation organised an International Workshop on Disposition of HLW through Geological Isolation Development, Current Status, and Technical and Policy Challenges to study problems and delays in the national high level waste

management programmes. This study includes the conclusions reached and recommendations made. The main recommendations are as follows:

- The organisations responsible for the management of high level wastes, along with the scientific and technical communities (including the social sciences), should lead and support the search for solutions for the management of nuclear wastes. Today's society has the technical, social and ethical responsibility to ensure that steps are being taken to generate options, understand their implications and involve the public in the process of selection.

- The national programmes should implement processes involving the public in decision-making with respect to safety, this implying assurance, on the one hand, of the existence of options and, on the other, of the availability of adequate resources for the entire process up to final management. They should give sufficient weight to all the aspects of management, including the technical, economic, social and ethical. Criteria and processes for decision-making should be established and agreed on beforehand among the parties.

- The progress of the programmes should be achieved stepwise and should be supported by dialogue and analysis for both technical and social reasons, thus providing the programmes with a certain degree of flexibility and adaptability. Consequently, the programmes should be based on a study of realistic alternatives, providing support for subsequent assessment of these alternatives and paving the way towards definitive disposal. One of these steps might be the construction of underground research laboratories.

- The national programmes should continue with information exchange and international cooperation in the technical field and intensify this cooperation in the fields of strategy and policy.

- In developing the management programme and its regulatory component, consideration should be given to understandable and integrated risk-informed systems aimed at guaranteeing the safety of temporary storage and definitive disposal facilities.

In concluding, it should be pointed out that progressing towards the final management of all types of wastes implies a commitment by all of society, the politicians, regulators, producers and managers, in order to ensure the availability of the necessary human, technical and economic resources.

REFERENCES

- 1 Disposition of High-Level Waste and Spent Nuclear Fuel. The Continuing Societal and Technical Challenges. National Research Council. 2001.
- 2 Report on the Safety of Radioactive Waste Management. Attachment 1 of Measures to Strengthen International Co-operation in Nuclear, Radiation, Transport and Waste Safety. IAEA General Conference 2001.
- 3 The Principles of Radioactive Waste Management. RADWASS Programme. IAEA. 1995.
- 4 Establishing a National System for Radioactive Waste Management. RADWASS Programme. 1995.
- 5 Classification of Radioactive Waste. IAEA. 1994.
- 6 Geological Disposal of Radioactive Waste. Review of developments in the last decade. NEA. 1999.
- 7 The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal. RWMC. NEA/OECD. 1995.
- 8 Schemes for financing radioactive waste storage and disposal, EC, 1999.

REFERENCIAS

1. Disposition of High-Level Waste and Spent Nuclear Fuel. The Continuing Societal and Technical Challenges. National Research Council. 2001.
2. Report on the Safety of Radioactive Waste Management. Attachment 1 of Measures to Strengthen International Co-operation in Nuclear, Radiation, Transport and Waste Safety. IAEA General Conference 2001.
3. The Principles of Radioactive Waste Management. RADWASS Programme. IAEA. 1995.

4. Establishing a National System for Radioactive Waste Management. RADWASS Programme. 1995.
5. Classification of Radioactive Waste. IAEA. 1994.
6. Geological Disposal of Radioactive Waste. Review of developments in the last decade. NEA. 1999.
7. The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal. RWMC. NEA/OECD. 1995.
8. Schemes for financing radioactive waste storage and disposal, EC, 1999.



Álvaro RODRÍGUEZ BECEIRO, ingeniero industrial, rama de Energía, por la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, es actualmente director de Investigación y Tecnología de ENRESA, Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, donde se incorporó en 1987 como responsable de Relaciones Internacionales. Desde 1976 lleva trabajando en el campo nuclear anteriormente en INITEC en el diseño de centrales nucleares (en las áreas de protección radiológica y de seguridad y licenciamiento). Es director adjunto en el Consorcio Europeo Cassiopee y miembro del Comité del Plan de Acción Comunitario (ACPM) de la Comisión Europea, del Comité de Gestión de Residuos Radiactivos de la AEN/OCDE y del Comité de Tecnología de Residuos Radiactivos del OIEA.

Álvaro RODRÍGUEZ BECEIRO is by career Industrial Engineer (Energy branch) by the Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Madrid. Since 1976 he is working in the nuclear field, firstly in INITEC in the design of nuclear power plants (radiation protection and safety and licensing areas). In 1987 he joined ENRESA, the Spanish Radioactive Waste Management Agency, where he was responsible for the International Relations of the Company, being at present Director for Research and Technology. He is also Deputy Director of the European CASSIOPEE Consortium, and Member of the Plan of Action (ACPM) Committee of the European Commission, of the Radioactive Waste Management Committee (RWMC) at the NEA/OCDE and of the Radioactive Waste Technology Committee at the IAEA.



Elena VICO DEL CERRO, licenciada en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid y Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental por la Escuela de Organización Industrial de Madrid, trabaja desde 1995 en relaciones internacionales de ENRESA, Empresa Nacional de Residuos Radiactivos. Es responsable de la coordinación y seguimiento de la participación internacional de ENRESA y es miembro del Comité Asesor del Consorcio Europeo Cassiopee.

Elena VICO DEL CERRO is MSc in Physics (materials branch) by the Universidad Complutense de Madrid and specialist in Environmental Management and Engineering (Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental por la Escuela de Organización Industrial de Madrid). She joined ENRESA in 1995 within the International Relations department and at present she is responsible for international relations co-ordination and follow-up within the Division of Research and Technology. She is member of the Advisory Committee of the European Consortium Cassiopee.



Emilio GARCÍA NERI es licenciado en Geografía e Historia por la Universidad Complutense de Madrid, Master en Dirección de Recursos Humanos por la Cámara Oficial de Comercio e Industria de Madrid y Master en Administración y Dirección de Fundaciones por la Universidad Autónoma de Madrid. Se incorporó a ENRESA en julio de 1993, donde en la actualidad forma parte de la Dirección del Área de Relaciones Internacionales.

Emilio García Neri has a Bachelor's degree in Geography and History from Madrid's Universidad Complutense, a Master's in Human Resources Management from Madrid's Official Chamber of Commerce and Industry and a Master's in Administration and Management of Foundations from Madrid's Universidad Autónoma. He joined Enresa in July 1993, where he currently works in the International Relations Division.