

L'ENERGIA NUCLEAR

EL RECORREGUT DE L'ENERGIA



Govern de les Illes Balears

Conselleria de Comerç, Indústria i Energia
Direcció General d'Energia



c o n t i n g u t

L'energia nuclear

Les reaccions de fusió i fissió

Les aplicacions no energètiques

El recorregut de l'urani

Les centrals nuclears

La seguretat nuclear

La generació d'energia

Els residus radioactius. Consideracions ambientals

Perspectives de futur a llarg termini

EDICIÓ PER A LES ILLES BALEARS

DIRECCIÓ: Josep Maria Rigo Serra

EQUIP DE TREBALL: Pere Nadal Fiol
Tomeu Comas Hernández
Joana Aina Reus Perelló

© Govern de les Illes Balears
Conselleria de Comerç, Indústria i Energia
Direcció General d'Energia

© DE L'EDICIÓ: Domènech e-learning multimedia, S.A. 

PRIMERA EDICIÓ: 2010

MAQUETACIÓ: Domènech e-learning multimedia, S.A.

L'ENERGIA NUCLEAR

L'energia nuclear es basa en el fenomen natural de la radioactivitat, és a dir, en la propietat que tenen alguns elements com l'urani d'emetre radiacions.

Aquest fenomen té nombroses aplicacions, entre les quals destaca la de generar energia a gran escala mitjançant les centrals tèrmiques nuclears. En aquestes instal·lacions, l'energia procedent de les radiacions que s'emeten durant la desintegració dels àtoms radioactius produeix una gran quantitat de calor que es pot transformar en energia elèctrica.

EL FENOMEN DE LA RADIOACTIVITAT

Les radiacions ionitzants són aquelles que tenen prou energia com per a ionitzar la matèria, és a dir, extreure els electrons del seu estat lligat a l'àtom*. Aquest tipus de radiacions és una característica comuna a molts àtoms el nucli dels quals és inestable degut a què el nombre de neutrons és reduït o, per contra, excessiu. Aquests àtoms s'anomenen radioactius.

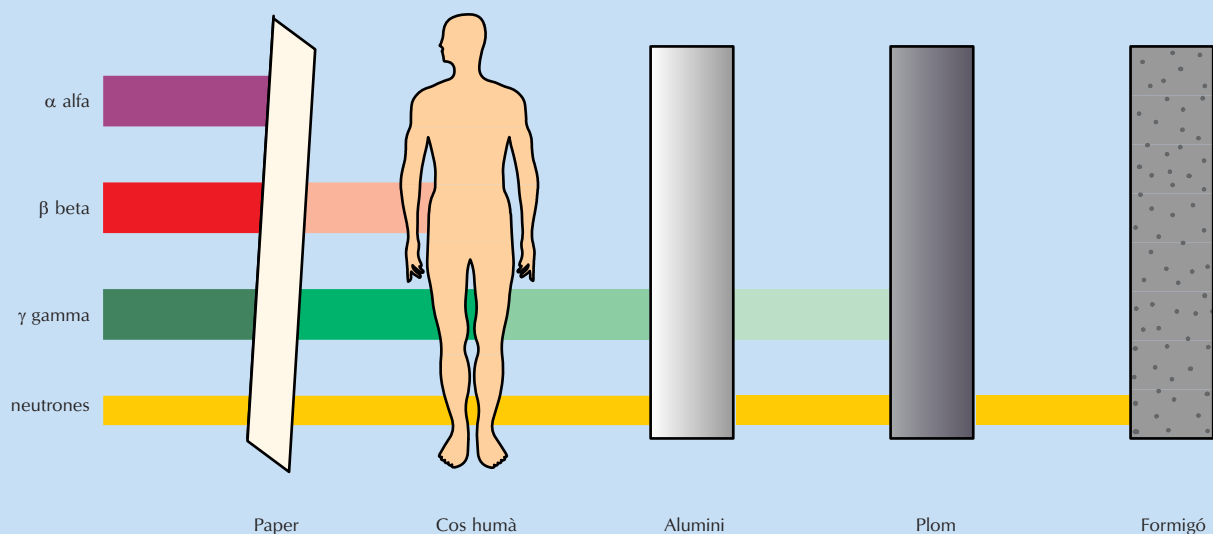
L'emissió de radiacions pot ser de quatre tipus diferents: alfa, amb poca capacitat de penetrar i travessar la matèria, però amb molta intensitat energètica; beta, una mica més penetrant, però menys intensa; gamma, molt penetrant; i neutrònica, també molt penetrant.

La intensitat amb la qual es desintegra una substància radioactiva s'anomena activitat, i expressa el nombre d'àtoms que es desintegren per unitat de temps. La unitat que mesura la intensitat és el **becquerel***, en honor al científic que va descobrir aquest fenomen.

Radiació i radioactivitat formen part de la natura i del nostre propi cos, ja que procedeixen de les matèries que hi ha per tot l'Univers. Aquestes radiacions naturals provenen dels processos nuclears que es produeixen a l'exterior de la Terra (radiació còsmica), de les substàncies radioactives presents a l'escorça terrestre (la presència de les quals varia segons l'indret del nostre planeta) i, fins i tot, de les que genera l'organisme humà.

Les causes artificials de radiació són, principalment, les que procedeixen de les instal·lacions nuclears i les que es produeixen durant les exploracions radiològiques amb finalitats mèdiques. Els televisors i, en general, la majoria d'aparells electrònics també són una font de radiació, per bé que a molt petita escala. El propi cos humà emet radiació pel potadi-40 que el constitueix.

PODER PENETRANT DELS TIPUS DE RADIACIÓ



LES REACCIONS DE FUSIÓ I FISSIÓ

LA FUSIÓ

La fusió nuclear, és la reacció mitjançant la qual els nuclis de dos àtoms lleugers -habitualment, l'hidrogen i els seus **isòtops***-, s'uneixen per a formar un nucli més pesat i estable, amb gran desprendiment d'energia.

Perquè es produeixi la reacció de fusió, cal que els nuclis carregats positivament vencin les forces electrostàtiques que els mantenen separats i es puguin unir. L'energia cinètica que cal perquè això succeeixi es pot aportar en forma de calor o fent servir un accelerador de partícules, aparells que augmenten la velocitat de les partícules atòmiques fins a velocitats properes a la llum.

Per a aconseguir aquest tipus de reaccions en el laboratori, es poden utilitzar dos mètodes: el confinament magnètic, que consisteix en l'aplicació d'intensos camps magnètics exteriors perquè els ions xoquin entre ells gràcies de l'energia cinètica que guanyen amb l'augment de la temperatura; i el confinament inercial, que consisteix en aprofitar l'energia procedent d'un làser o d'un feix d'ions per a comprimir petites quantitats de matèria fusible en un temps molt curt, i aconseguir així elevar la temperatura fins assolir la necessària per a arribar a la fusió.

Reacció de fusió

La reacció de fusió és la que es produeix al Sol: els àtoms d'hidrogen es fusionen per a produir heli i una gran quantitat d'energia en forma de calor i llum.

LA FISSIÓ

La fissió nuclear es produeix quan el nucli d'un àtom es divideix en dos o més nuclis petits tot donant lloc també a altres subproductes (neutrons, partícules, fotons...)

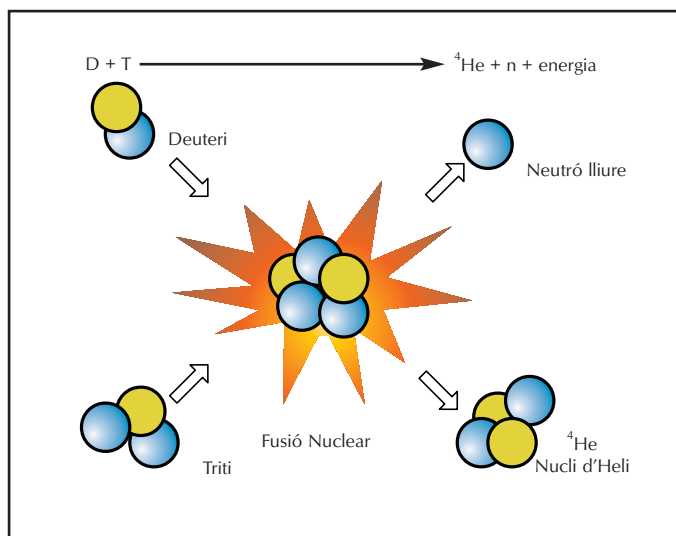
Quan es fan incidir neutrons sobre el nucli d'un element químic pesat, aquest es divideix en dos tot alliberant una gran quantitat d'energia i emetent dos o tres neutrons.

El procés de fissió és possible per la inestabilitat que tenen els nuclis atòmics d'alguns isòtops d'elements químics amb un nombre atòmic més alt (els isòtops d'un element són àtoms amb el mateix nombre d'àtom però diferent pes atòmic). Aquest fenomen té a veure amb la relació que hi ha entre el nombre de partícules de càrrega elèctrica positiva (**protons***) i el nombre de partícules nuclears d'aquests nuclis (protons i neutrons). En aquestes condicions, només cal una petita quantitat d'energia -com la que transporta el **neutró*** que col·lisiona amb el nucli-, perquè tingui lloc la reacció de fissió.

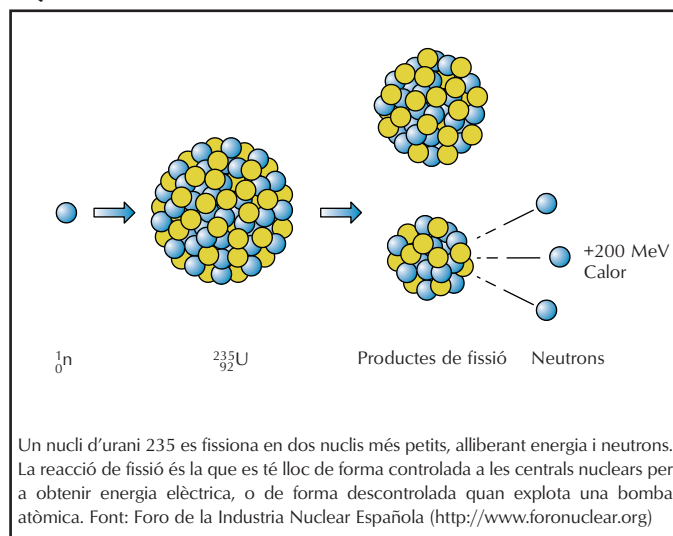
Els neutrons emesos durant la fissió d'un nucli també poden produir noves reaccions de fissió quan interaccionen amb altres nuclis, els quals, al seu torn, emetran nous neutrons i, així, successivament. Aquest efecte multiplicador es coneix amb el nom de reacció en cadena. Quan s'aconsegueix que només un neutró dels alliberats durant la reacció de fissió produeixi una única reacció posterior, el nombre de reaccions que tenen lloc per segon és constant, de manera que la reacció està sota control. És el principi en el qual es basen els reactors nuclears.

Els investigadors O. Hahn i F. Strassmann van descobrir la reacció de fissió el 1938, quan van detectar elements químics amb una massa molt petita en una mostra d'urani pur irradiada amb neutrons.

ESQUEMA D'UNA REACCIÓ DE FUSIÓ



ESQUEMA D'UNA REACCIÓ DE FISSIÓ



LES APLICACIONS NO ENERGÈTIQUES

Hi ha altres aplicacions de la tecnologia nuclear, a més de la generació d'electricitat, que són fonamentals per aconseguir una millora en la qualitat de vida. Aquestes altres aplicacions es podrien resumir en el diagnòstic i la teràpia de malalties, el control de processos manufacturats, la producció i conservació d'aliments, la lluita contra les pestes i contaminants o la datació d'objectes carbonosos, etc.

LES APLICACIONS EN MEDICINA

En un país industrialitzat, un de cada tres pacients que va a un hospital rep algun tipus de tractament de medicina nuclear. Segons la naturalesa del pacient, les radiacions s'apliquen per a fer un radiodiagnòstic o una radioteràpia.

El radiodiagnòstic consisteix en obtenir imatges radiològiques de l'organisme mitjançant raigs X que travessen el camp exploratori que es vol estudiar. En els darrers anys s'han incorporat altres tècniques d'imatge que no fan servir radiacions, com l'ecografia, la ressonància magnètica nuclear, o la tomografia axial computaritzada (TAC), que permet obtenir la imatge dels òrgans en tres dimensions, o la tomografia per emissió de positrons (TEC), tècnica que s'utilitza per mesurar l'activitat metabòlica dels diferents teixits del cos humà, especialment del sistema nerviós.

La radioteràpia fa servir radiacions ionitzants per a destruir teixits malignes o tumors. Es fan servir raigs X de baixa energia per a tractaments superficials, o radiacions més energètiques produïdes per acceleradors lineals per a tumors més profunds.

La medicina nuclear s'aplica per a fer diagnòstics, teràpia i recerca mèdica. Amb finalitats diagnòstiques o terapèutiques s'introdueix en l'organisme del pacient una petita quantitat de substància radioactiva, anomenada radiofàrmac, que emet una radiació que posteriorment es capta amb una càmera. Aquest radiofàrmac té un període de semidesintegració molt curt i s'elimina ràpidament.

LES APLICACIONS EN AGRICULTURA I ALIMENTACIÓ

L'agricultura ha estat un dels sectors que s'ha beneficiat de les aplicacions nuclears, ja que han contribuït a fer augmentar els recursos alimentaris per a grans sectors de la població.

Una de les pràctiques més habituals és la irradiació de llavors de determinades plantes per a produir mutacions en els gens, donant lloc a variants genètiques de cultius amb alt rendiment i més resistent a les malalties (arròs, cotó, blat, ordi, blat de motor...).

Una aplicació que ajuda a evitar les intoxicacions alimentàries i perllongar el bon estat dels aliments és la conservació per irradiació. Aquesta tècnica consisteix en exposar els aliments a una font controlada de radiació durant el temps requerit en funció de l'aliment i dels bacteris a irradiar. Tots els aliments que hagin estat irradiats han d'anar degudament etiquetats.

LES APLICACIONS AMBIENTALS

Mitjançant la utilització de radiacions ionitzants es pot determinar els compostos contaminants que hi ha a l'aire, l'aigua o el sòl, o mesurar les impureses que hi ha en un producte o material (per exemple, la quantitat de sofre que hi ha en un tipus de petroli). La interacció de les radiacions amb els àtoms dels elements que formen el mitjà analitzar permet conèixer amb exactitud la seva composició.

Fent anàlisis dels isòtops presents a l'atmosfera es poden calcular els alliberaments de CO₂ i gasos d'efecte hivernacle en un determinat indret, i així saber la seva contribució a l'escalfament global. Amb aquesta tècnica, s'ha aconseguit també eradicar plagues d'insectes com la mosca Tsé-Tsé. Es reproduïxen un gran nombre d'exemplars en plantes de cria, s'esterilitzen sexualment amb radiacions gamma, i s'alliberen a la zona afectada per la plaga perquè quan s'uneixin amb insectes salvatges no criïn. Es pot fer servir igualment per a eliminar gèrmens patògens d'aigües residuals o per a tractar aigües contaminades.

LES APLICACIONS INDUSTRIALS

Les radiacions ionitzants són àmpliament utilitzades en la indústria moderna i tenen una gran importància en l'elaboració i optimització de processos, en el control de qualitat i en la millora de les propietats dels materials.

Es fan servir, per exemple, per a determinar automàticament els espessors de paper o de xapa en els processos de producció, mitjançant l'atenuació de la radiació gamma emesa per una font que recull un detector; per a controlar la qualitat de les soldadures o peces foses; o per a mesurar el nivell de líquids en dipòsits, ompliment d'ampolles o transport de minerals. La irradiació s'utilitza també per a esterilitzar material mèdic d'un sol ús.

ALTRES APLICACIONS

L'energia nuclear també serveix per a propulsar vaixells mercants, creuers, portaavions, trencagels, vaixells militars, submarins i fins i tot satèl·lits artificials.

L'energia nuclear quan es emprada per a propulsar naus civils rep el nom de "propulsió nuclear marina" i per a propulsar naus militars rep el nom de "propulsió nuclear naval".

L'any 1995 es va crear el primer submarí propulsat amb energia nuclear, conegut amb el nom de USS Nautilus. L'energia nuclear va permetre que els submarins passessin moltes setmanes submergits i assolissin velocitats elevades (20-25 nusos). El portaavions Enterprise, construït l'any 1961 i encara en servei, està propulsat per 8 reactors nuclears. També existeixen satèl·lits artificials propulsats amb energia nuclear i porten incorporada una petita central de fissió d'urani 235.

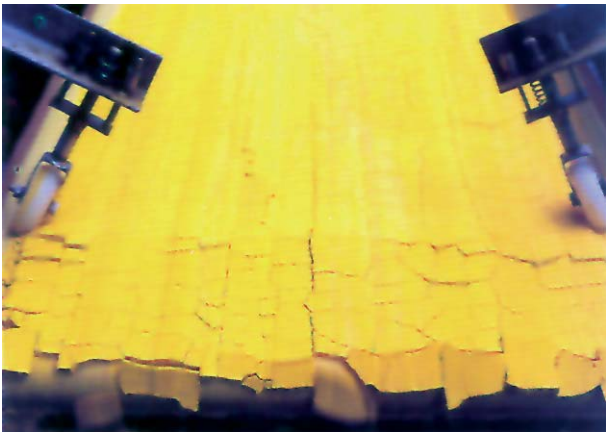
EL RECORREGUT DE L'URANI

El procés que comprèn l'abastament del combustible a les centrals nuclears, el tractament posterior i l'ús que se'n fa, es coneix com el cicle del combustible nuclear.

LES CARACTERÍSTIQUES DEL MINERAL

L'urani és un metall contingut en diversos minerals de la Terra, i és unes 500 vegades més abundant que l'or. A l'escorça terrestre arriba a una mitjana de 2,7 grams per tona.

El mineral d'urani s'extreu, principalment, de les mines, però també com a subproducte de l'explotació del coure, de l'or o del fosfat. En el mateix lloc de l'extracció, es fabrica un concentrat d'urani triturant el mineral i extraient-ne químicament l'urani, amb el qual es fa una matèria sòlida que té un contingut d'un 70-80% d'urani (yellow cake o pastís groc).



Els jaciments d'urani més grans es troben a Austràlia (27%), Canadà (13%) i Sud-àfrica (7%). A Europa hi ha només 1,2%. Actualment, a l'Estat espanyol no hi ha cap mina d'urani en explotació comercial, ja que l'última es va clausurar l'any 2000, a Salamanca, per manca de rendibilitat, tot i que les reserves es calculen en unes 12.000 tones.

L'enriquiment de l'urani

En un reactor nuclear no s'hi pot introduir directament urani natural, ja que el contingut d'Urani 235 fissionable (un dels isòtops de l'urani, com l'U-238) és només del 0,7%. Cal enriquir-lo. Aquest percentatge s'eleva fins al 3-5% mitjançant un procés que consisteix en separar els isòtops d'Urani 235 i 238.

A Espanya, no hi ha cap instal·lació on es faci enriquiment d'urani. Aquesta és l'única fase de la primera part del cicle del combustible nuclear que es fa a l'estranger.

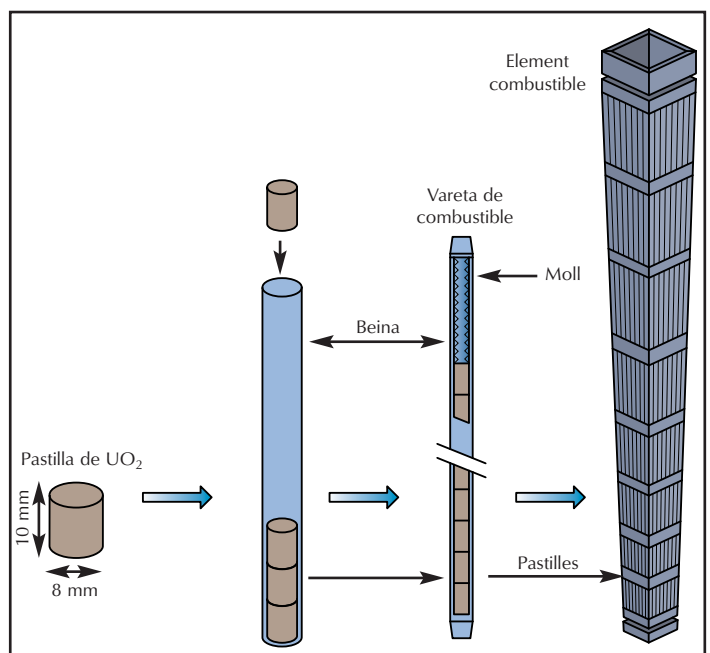
LA PRODUCCIÓ DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

Un cop enriquit, l'urani es transforma en pols de diòxid d'urani i, després, en pastilles de naturalesa ceràmica sintetitzades a uns 1.700°C de temperatura. Una pastilla de combustible és un cilindre d'aproximadament un centímetre d'altura per un centímetre de diàmetre i cinc grams de pes, amb la qual es pot produir l'energia equivalent a 810 kg de carbó, 565 l de petroli o 480 m³ de gas natural.

Aquestes pastilles s'introdueixen en una vareta de Zircaloy (aliatge de zirconi i estany) hermèticament tancada, de paret molt prima, amb un diàmetre interior lleugerament superior al de les pastilles i d'uns 4 m de longitud. La columna de pastilles es manté en posició mitjançant una molla que hi ha a la cavitat superior de la vareta. Al seu torn, aquestes varetes s'agrupen en feixos i formen el que s'anomena un element combustible.

Els elements combustibles contenen un cert nombre d'elements de control. Es tracta de barres d'acer inoxidable a l'interior de les quals hi ha un aliatge de plata, d'indi i de cadmi, i que es fan servir per a controlar la reacció en cadena i la potència o aturada total del reactor, capturant més o menys neutrons d'acord amb la penetració que aconsegueixen en el nucli del reactor.

COMPOSICIÓ D'UN ELEMENT COMBUSTIBLE



EL TRANSPORT DE COMBUSTIBLE NUCLEAR

El transport de materials radioactius està regulat per normatives nacionals i internacionals, a fi de controlar els riscos d'aquesta activitat pel que fa a les persones i el medi ambient, tant en condicions normals com en cas d'accident.

Dos dels requisits imprescindibles per a transportar materials radioactius són la garantia de qualitat i la verificació del compliment de les condicions del transport. El combustible es transporta des de la fàbrica d'elements combustibles fins a les centrals nuclears en uns contenidors especials que han passat una sèrie de proves de validació per a demostrar que són segurs en qualsevol situació d'accident imaginable durant el transport.

Un cop a la central, el combustible nuclear s'emmagatzema a l'interior de l'edifici de combustible, tot esperant de ser introduït en el reactor durant les aturades de recàrrega.

RESIDUS RADIOACTIUS

La darrera etapa en la vida de l'urani, quan aquest ha esdevingut residu. Es generen residus radioactius en totes les etapes del cicle nuclear.

A Espanya hi ha 9 central nuclears i 600 hospitals i centres de recerca que generen més de 2000 tones anuals de residus. Però només el 5% d'aquests residus provenen de les centrals nuclears.

A Còrdova hi ha un abocador nuclear pels residus de procedència no energètica, d'activitat mitja i baixa.

Els residus de les centrals elèctriques, d'alta activitat, es confinen en piscines especials subterrànies que hi ha a les mateixes centrals a l'espera de disposar d'un Magatzem Temporal Centralitzat (MTC), també conegut com a cementiri nuclear. Actualment a Espanya no n'hi ha cap i s'està buscant la ubicació pel primer.

EL RECORREGUT DE L'URANI



Font: <http://www.mityc.es/Nuclear/Seccion/Combustible/>

LES CENTRALS NUCLEARS

Una central nuclear és una instal·lació industrial que té la funció de generar energia elèctrica a partir de l'energia nuclear. Aquestes centrals consten d'un reactor nuclear actua com a caldera. La calor que s'obté de la reacció de fissió en cadena de l'urani que hi ha al reactor s'utilitza per a moure una turbina que transforma l'energia tèrmica en electricitat.

LES CARACTERÍSTIQUES D'UNA CENTRAL

Una central nuclear està formada per diversos edificis. Els més importants són el de contenció, el de turbines, el de combustible, el de protecció i l'elèctric. L'edifici de contenció és el més important i característic d'una central nuclear, ja que allotja el reactor i tots els elements que contenen material amb un alt grau de radioactivitat. En algunes centrals, també allotja la zona de gestió del combustible. Aquest edifici està format per una estructura de formigó armat, generalment de forma esfèrica o cilíndrica, les parets interiors de la qual estan recobertes de xapes d'acer que garanteixen una hermeticitat completa.

A l'edifici de combustible, hi ha tant el combustible nou com el que ja s'ha consumit, el qual s'emmagatzema en piscines plenes d'aigua durant un cert temps a l'espera de gestionar-lo definitivament. En funció de les característiques de cada central, les aturades per a recàrrega de combustible es fan cada 12, 18 o 24 mesos, amb una durada aproximada d'un mes. Durant el temps en què el reactor està aturat també es fan treballs de manteniment

L'edifici de turbines conté el grup o grups de turbina-alternador i els sistemes auxiliars. A l'edifici de proteccions hi ha ubicada la majoria dels sistemes d'emergència i de seguretat per al cas d'una avaria al reactor. Els sistemes elèctrics, els centres de control de motors, així com la sala de control es troben en l'edifici elèctric. Des d'aquest lloc es controlen tots els sistemes de la central.

ELS TIPUS DE CENTRALS

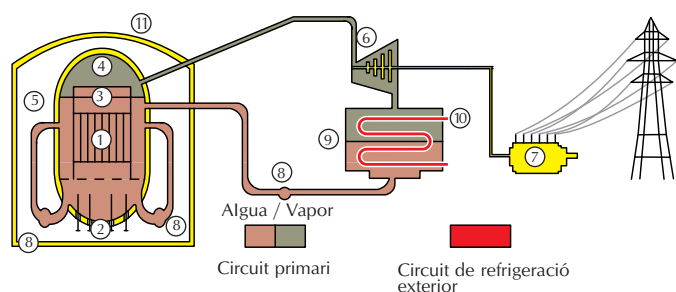
Existeixen diferents tipus de centrals en funció dels reactors nuclears que posseeixen. La combinació de les diferents opcions possibles per al combustible, el moderador i el refrigerant configuren els diversos tipus de reactors nuclears.

Els que han evolucionat més són els que funcionen amb **neutrons tèrmics*** i urani lleugerament enriquit, que fan servir aigua com a refrigerant i moderador.

Al món, hi ha diversos tipus de reactors comercials operatius, si bé totes les centrals que hi ha a Espanya són de dos tipus principals: els reactors d'aigua a pressió (PWR – Pressurized Water Reactor), i els d'aigua en ebullició (BWR – Boiling Water Reactor).

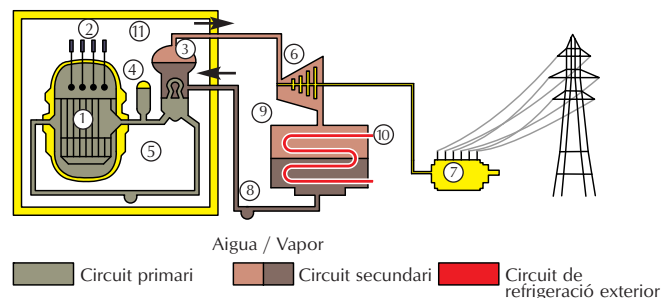
Altres tipus de reactors són el de grafit-gas (GCR), el de grafit i aigua lleugera (LWR), el d'aigua pesada (HWR), el reactor avançat de gas (AGR), i el refrigerat per gas a alta temperatura (HTGR), el reactor avançat d'aigua a pressió (APWR), o el reproduïdor ràpid (FBR).

ESQUEMA D'UN REACTOR D'AIGUA EN EBULLICIÓ



- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Nucli | 7. Alternador |
| 2. Barres de control | 8. Bomba de recirculació |
| 3. Separador i assecador | 9. Condensador |
| 4. Vapor d'aigua | 10. Circuit de refrigeració |
| 5. Vas del reactor | 11. Edifici de contenció |
| 6. Turbina | |

ESQUEMA D'UN REACTOR D'AIGUA A PRESSIÓ



- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1. Nucli | 7. Alternador |
| 2. Barres de control | 8. Bomba de condensat |
| 3. Generador de vapor | 9. Condensador |
| 4. Presionador | 10. Circuit de refrigeració |
| 5. Vas del reactor | 11. Edifici de contenció |
| 6. Turbina | |

LA SEGURETAT NUCLEAR

L'objectiu de les mesures de seguretat que s'apliquen a les instal·lacions nuclears és protegir les persones i el medi ambient dels efectes de les radiacions ionitzants. Les mesures de protecció que s'adopten són tant de tipus tecnològic com administratiu.

La seguretat de les centrals nuclears es basa tant en la seguretat intrínseca, que ja inclou el disseny del reactor, com en la que proporcionen les diverses barreres de protecció físiques construïdes i que impedeixen fugues de radiació i de productes radioactius.

LES BARRERES DE PROTECCIÓ

Les barreres de protecció físiques de seguretat que s'apliquen són quatre:

- les pastilles de combustible que, a causa de la seva estructura ceràmica, retenen les substàncies radioactives produïdes en la fissió,
- les varetes que contenen el combustible i que retenen les petites quantitats de substàncies radioactives que poguessin superar la primera barrera,
- el sistema de refrigeració del reactor que confinaria dins del vas del reactor les substàncies radioactives que haguessin traspassat la segona barrera,
- i el propi edifici de contenció.

A banda d'aquestes, hi ha una sèrie de proteccions tecnològiques constituïdes per un conjunt de sistemes dissenyats per a protegir les barreres físiques, com són el sistema de protecció del reactor, el de refrigeració d'emergència del nucli o el sistema elèctric d'emergència.

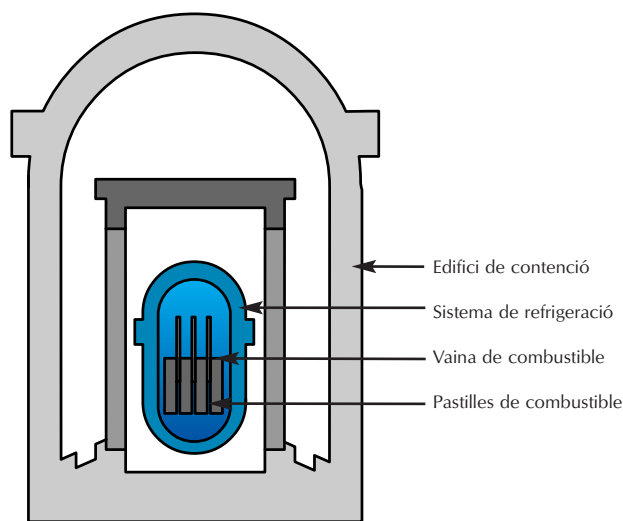
LES MESURES ADMINISTRATIVES

Les mesures administratives de seguretat nuclear són imposades a les empreses propietàries de les instal·lacions des de l'Administració de l'Estat mitjançant lleis, decrets i ordres ministerials. L'objectiu és mantenir els nivells de seguretat requerits durant el projecte, construcció i funcionament de les centrals nuclears.

A Espanya, el Consell de Seguretat Nuclear és l'organisme independent que s'encarrega de garantir que les instal·lacions nuclears funcionin correctament, a través d'inspeccions i controls continus dels quals informa puntualment al Congrés dels Diputats i al Senat. En coordinació amb les centrals nuclears i amb Protecció Civil, té previst el Pla d'emergència exterior, que recull les mesures a prendre per a vigilar l'entorn en l'hipotètic cas que es produeixi un accident.

Anualment, a totes les centrals nuclears es fa un simulacre d'emergència, l'objectiu del qual és entrenar tot el personal que hagi d'executar aquestes mesures en una situació d'emergència real.

BARRERES DE CONTENCIÓ



LA SEGURETAT EN EL TRANSPORT

El transport del material radioactiu, tant matèria primera com residu, requereix el compliment de l'ADR (Acord Europeu de transport de mercaderies perilloses per carretera), el RID (per ferrocarril), entre altres.

Aquesta normativa classifica el material radioactiu de la classe 7 i pot presentar 3 categories, segons la intensitat de les seves radiacions.

Els contenidors que transporten aquestes substàncies estan etiquetats. Per exemple el material radioactiu de la categoria II portaria aquest pictograma:



Persones especialitzades com els consellers de seguretat, vetllen en tot moment pel compliment de totes les mesures de protecció i seguretat que marca la normativa vigent.

LA GENERACIÓ D'ENERGIA

Les centrals nuclears tenen un rendiment energètic molt elevat en comparació amb altres tipus de centrals, com les que fan servir combustibles fòssils derivats del petroli o gas natural.

LES CENTRALS NUCLEARS AL MÓN

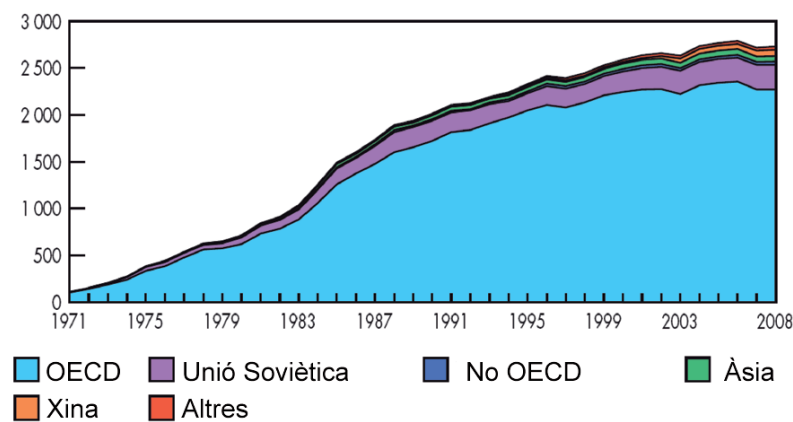
A finals de l'any 2006, al món hi havia més de 450 centrals en funcionament o en construcció, amb una potència instal·lada d'uns 372.000 MW.

L'any 2006 es van produir al món 2.793 TWh d'electricitat en centrals nuclears (1 TWh = 1.000.000.000 kWh), mentre que l'any 1973 se'n van generar només 203. Aquesta diferència s'explica per l'increment de nombre de centrals que s'han construït al món en els darrers anys, especialment

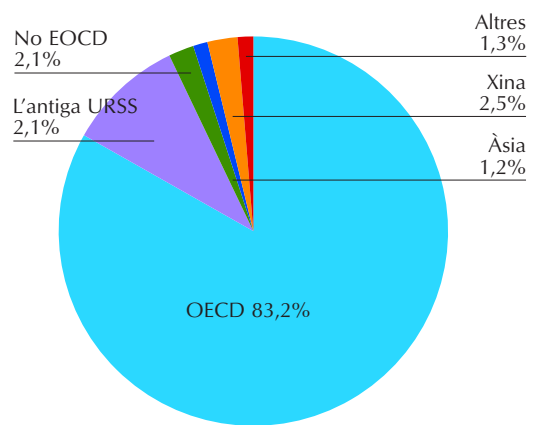
des dels anys vuitanta. Actualment, l'energia nuclear cobreix el 15% de la demanda d'electricitat mundial.

Els Estats Units, França i el Japó són els països amb més centrals i, per tant, amb major potència instal·lada. La generació elèctrica només dels Estats Units va representar l'any 2006 gairebé el 30% del total mundial. França va representar el 16%, però a nivell intern l'energia nuclear va cobrir el 80% de la demanda d'electricitat del país.

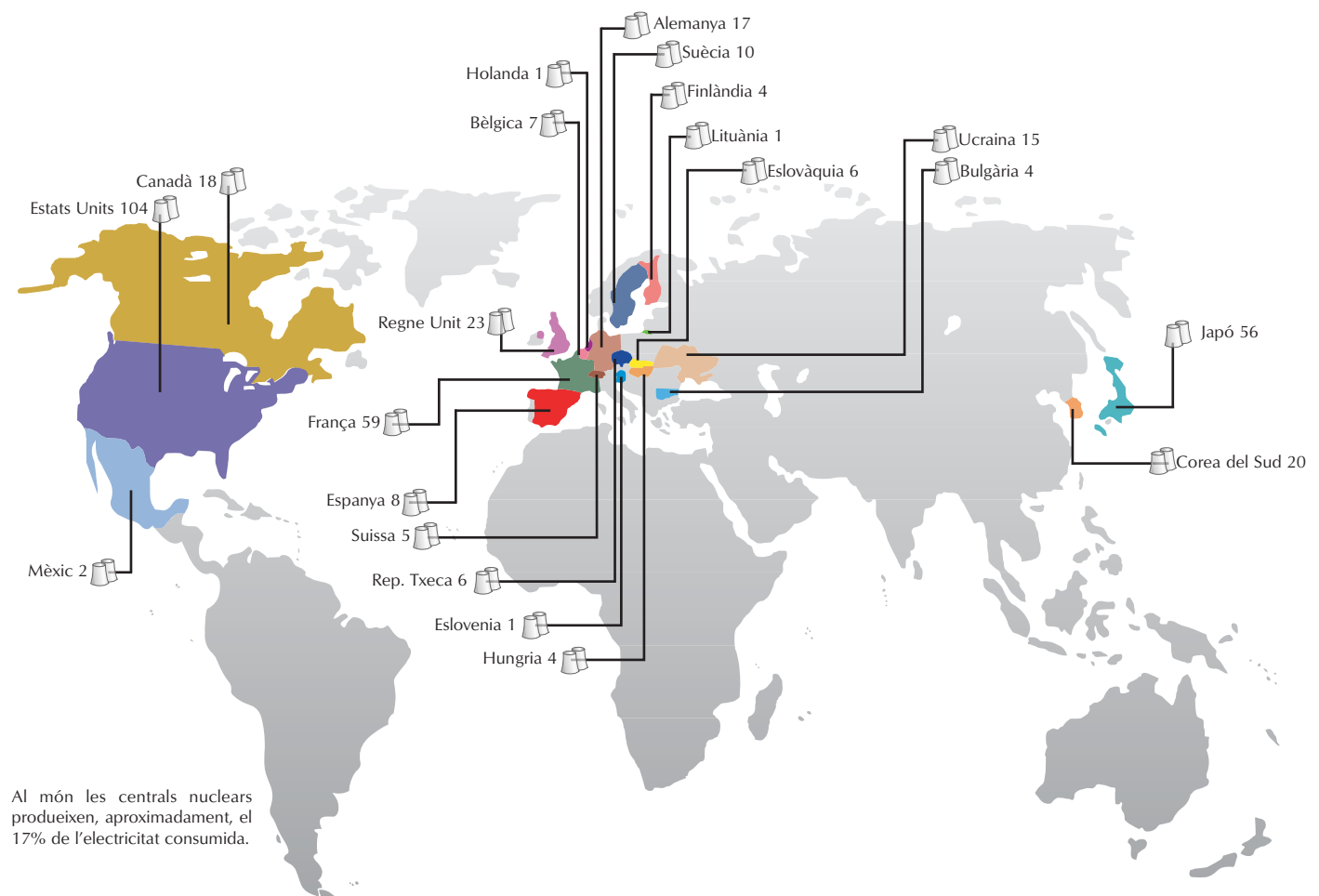
EVOLUCIÓ DE LA PRODUCCIÓ NUCLEAR (TWH)



EVOLUCIÓ DE LA PRODUCCIÓ NUCLEAR (%) 2008



Font: International Energy Agency.



LES CENTRALS NUCLEARS A ESPANYA

A Espanya hi ha operatives 8 centrals nuclears, dues de les quals tenen dos reactors cadascuna, amb una potència instal·lada de 7.728 MW. La central José Cabrera a Guadalajara està aturada i la de Vandellòs I, a Tarragona, es troba en fase de desmantellament (Vandellòs I a Tarragona).

Totes les centrals -excepte Vandellòs II, que està situada al costat del mar Mediterrani-, es troben al costat de rius cabalosos i allunyades de grans nuclis urbans.



RELACIÓ DE CENTRALS NUCLEARS EN ESPANYA (2008)

Central	Emplaçament	Propietaris	Potència elèctrica* (MW)	Tipus	Any entrada en servei
Sta. María Garoña	Sta. M ^a Garoña (Burgos)	Nuclenor: Iberdrola Generación, S.A.(50%) y Endesa Generación, S.A. (50%)	466.00	B.W.R.	1971
Almaraz I	Almaraz (Càceres)	Iberdrola Generación, S.A. (52,7%), Endesa Generación, S.A. (36,0%) Unión Fenosa Generación (11,3%)	977.00	P.W.R.	1981
Ascó I	Ascó (Tarragona)	Endesa Generación, S.A.(100%)	1032.50	P.W.R.	1983
Almaraz II	Almaraz (Càceres)	Iberdrola Generación, S.A. (52,7%), Endesa Generación, S.A.(36%) Unión Fenosa Generación (11,3%)	980.00	P.W.R.	1983
Cofrentes	Cofrentes (València)	Iberdrola Generación, S.A.	1092.02	B.W.R.	1984
Ascó II	Ascó (Tarragona)	Endesa Generación, S.A.(85%), Iberdrola Generación, S.A. (15%)	1027.21	P.W.R.	1985
Vandellòs II	Vandellòs (L'Hospitalet de l'Infant, Tarragona)	Endesa Generación, S.A.(72%), Iberdrola Generación, S.A. (28%)	1087.14	P.W.R.	1987
Trillo	Trillo (Guadalajara)	Iberdrola Generación, S.A. (48%), U Fenosa G. (34,5%) Hidroeléctrica Cantábrico (15,5%), Nuclenor (2%).	1066.00	P.W.R.	1988

BWR: Reactor d'aigua en ebullició. PWR: Reactor d'aigua a pressió.

ELS RESIDUS RADIOACTIUS. CONSIDERACIONS AMBIENTALS

Com la majoria de les activitats humanes, la indústria nuclear genera residus, si bé en aquest cas tenen la característica de contenir una radioactivitat residual que els fa perillosos per a la salut humana i el medi ambient.

L'ORIGEN DELS RESIDUS

La mineria de l'urani, la fabricació dels elements combustibles i el conjunt d'activitats associades amb la generació d'electricitat als reactors nuclears generen diversos tipus de residus, la majoria dels quals són radioactius. El desmantellament de les centrals, una vegada han finalitzat la seva vida útil, produeix materials de rebuig que no poden ser sotmesos al mateix tractament que els residus inerts.

També es generen residus radioactius, encara que en una proporció més petita, a la indústria, als laboratoris d'investigació o a les unitats de medicina nuclear dels hospitals, on es consideren residus els guants, les xeringues o les restes líquides que procedeixen de proves diagnòstiques.

Tots aquests residus han de ser transportats i emmagatzemats acuradament d'acord amb el que determina la llei a fi d'evitar que produeixen algun efecte nociu o tòxic sobre la salut de les persones o l'entorn.

L'EMMAGATZEMATGE

Com que els residus radioactius tenen un període de desintegració que pot arribar a ser de milers d'anys, cal emmagatzemar-los adequadament segons les seves característiques. En aquest sentit, es classifiquen en residus de baixa, mitjana i alta activitat.

A Espanya, es produeixen anualment unes 2.000 tones de residus de baixa i mitjana activitat i unes 160 tones de residus d'alta activitat. Suposant que les centrals nuclears actuals tinguin un termini de funcionament de 40 anys, els residus de baixa i mitjana activitat que es generarien, incloent-hi el desmantellament, equivaldrien al volum d'un estadi de futbol, i els d'alta activitat al volum d'una piscina olímpica de 50 m.

El tractament dels residus radioactius està regulat pel Pla general de residus radioactius que aprova el Govern espanyol i que executa l'Empresa Nacional de Residus Radioactius (ENRESA). Aquesta empresa va ser creada el 1984 i té per missió gestionar els residus radioactius que es generin a l'Estat espanyol i desmantellar centrals nuclears. L'objectiu de la gestió dels residus radioactius és immobilitzar-los i aïllar-los del medi ambient, garantint que ni les persones ni el medi ambient es vegin afectades per un risc radiològic i minimitzant-ne les càrregues a les generacions futures.

Els residus de baixa i mitja activitat són residus que contenen isòtops emissors de radiacions beta o gamma, o ambdós tipus. El seu període de semidesintegració dels quals és inferior o igual a 30 anys i no desprenen calor. Es

pot trobar aquest tipus de residus en eines o materials que es fan servir en algunes zones de les centrals nuclears, en material mèdic divers utilitzat en determinades àrees d'hospitals, etc.

Actualment, tots els residus radioactius de baixa i mitjana activitat que procedeixen de la producció d'energia elèctrica a les centrals nuclears i l'ús de materials radioactius en medicina, recerca, indústria i agricultura, s'emmagatzemen al Centro de Almacenamiento de El Cabril, situat als contraforts de Sierra Morena, en plena Sierra Albarrana, dins del terme municipal de Hornachuelos (província de Còrdova), en funcionament des de 1992.

Els residus arriben a El Cabril en bidons transportats per camions especials. Quan ja han estat identificats, es classifiquen en diverses categories: residus ja condicionats aptes per a introduir-los directament en els contenidors; residus per a ser compactats; residus ja condicionats destinats al laboratori per a proves i assajos; i residus que requereixen condicionament.



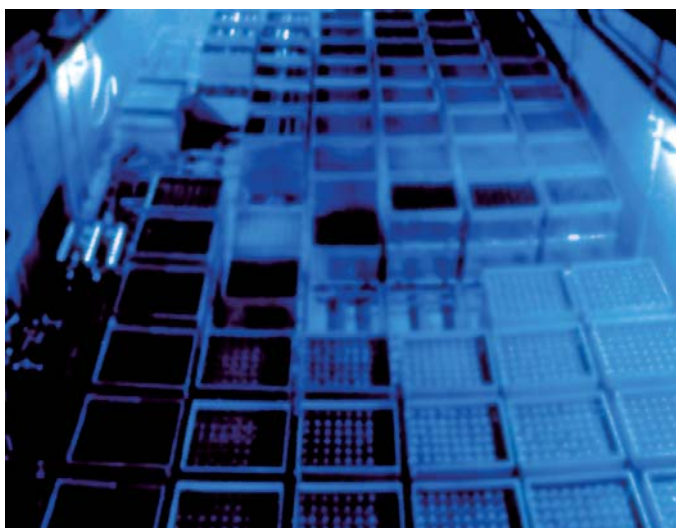
Centre d'emmagatzemament de residus nuclears de El Cabril.

Un cop tractats, s'introdueixen en bidons metàl·lics dins d'una matriu de formigó i, al seu torn, en contenidors cúbics, també de formigó. Quan aquests contenidors són plens, se'ls tapa amb una llosa i es reblen amb morter per a immobilitzar-ne el contingut.

Aquests contenidors s'ubiquen dins d'una de les 28 cel·les d'emmagatzematge que hi ha i que tenen, cadascuna d'elles, capacitat per a uns 320 contenidors. Quan la cel·la és plena, es clausura també amb una llosa de formigó que posteriorment s'impermeabilitza. Les cel·les d'emmagatzematge, una vegada plenes, es recobreixen amb capes alternatives de materials drenants i impermeables que eviten que possibles infiltracions d'aigua de pluja entrin en contacte amb els residus, recuperant la topografia inicial.

Sota les cel·les d'emmagatzematge s'hi instal·la una xarxa de control d'infiltracions d'aigua, que permet vigilar si s'hi ha produït entrada d'aigua, a pesar de totes les mesures dutes a terme per a segellar-les. En el cas d'haver-hi hagut infiltracions, es localitzaria el lloc exacte per a procedir a reparar-la i s'analitzaria l'aigua per a determinar si hi hagués hagut contacte amb els residus i, d'aquesta manera, garantir que no hi ha fuga d'isòtops radioactius en el medi ambient. Els residus d'alta activitat són els que contenen isòtops que emeten ones alfa, i que tenen un període de semidesintegració superior a 30 anys i poden desprendre calor. Bàsicament, estan formats pel combustible gastat de les centrals nuclears.

El procés d'extracció dels residus d'alta activitat s'inicia quan es fa l'aturada del reactor per a recarregar combustible. S'extreu, aproximadament una tercera part dels elements combustibles ja gastats, que formen el nucli del reactor, i es transporten per un canal d'aigua fins a la piscina (que és de formigó amb parets d'acer inoxidable), destinada a emmagatzemar-los temporalment dins de la mateixa instal·lació.



Els elements combustibles gastats s'emmagatzemen sota l'aigua perquè en disminueixi la càrrega tèrmica i en decaigui part de l'activitat. Es fa servir l'aigua, el formigó i l'acer atesa la capacitat de blindatge que tenen per a les radiacions ionitzants que emeten aquests elements, i això permet manipular el combustible de forma segura, sense cap risc de contaminació.

L'emmagatzematge del combustible gastat a les piscines de les centrals és una tecnologia segura i àmpliament provada a nivell internacional; la manipulació del combustible és mínima i sempre sota l'aigua, cosa que permet reduir els riscos i les dosis radioactives associades; la limitació d'aquesta alternativa és el propi espai físic de les piscines, fet que impossibilita una ampliació contínua.

En els darrers anys, les centrals nuclears espanyoles han duplicat la capacitat inicial d'emmagatzematge de les seves piscines, gràcies a haver substituït els bastidors inicials -on es col·loquen els elements combustibles-, per uns altres de més compactes, construïts amb materials nous que milloren la capacitat d'absorció neutrònica.

Totes les centrals nuclears espanyoles, excepte Trillo, tenen emmagatzemat el combustible utilitzat durant el seu funcionament a les piscines situades dins de la seva instal·lació. La central nuclear de Trillo va saturar la seva piscina l'any 2002 i va començar a emmagatzemar els residus en contenidors metàl·lics en sec, dins d'una nau construïda especialment amb aquesta finalitat dins dels terrenys de la central.

L'emmagatzematge en contenidors metàl·lics permet ampliar la capacitat d'emmagatzematge a l'emplaçament de forma segura, flexible i progressiva; la manipulació futura del combustible irradiat es minimitza en fer servir un mateix contenidor per a l'emmagatzematge i el transport; i aquests mateixos contenidors es podrien utilitzar en un futur emmagatzematge temporal.

Els programes de vigilància ambiental de les centrals

nuclears

Des que van entrar en funcionament les centrals nuclears a Espanya, es van engegar els programes de vigilància radiològica ambiental (PVRA), supervisats pel consell de Seguretat Nuclear, que s'apliquen a la zona compresa en un radi de 30 km al voltant de l'emplaçament. L'objectiu és vigilar l'impacte radiològic que es pot produir en l'entorn tot controlant els nivells de contaminació de l'aire, de les aigües, dels sòls i dels aliments.

Anualment, cada central recull una mitjana de 2.000 mostres de sòls, d'aigües subterrànies i de pluja, de cultius, de llet, de carns, d'aus, de peixos, de sediments, etc., que analitza periòdicament. Les dades són enviades al Consell de Seguretat Nuclear que, al seu torn, recull les seves pròpies mostres. Això permet contrastar els resultats amb la finalitat d'assegurar que són correctes. A més, hi ha uns 30 punts al voltant de cada central, on es mesura contínuament la radiació de fons i la presència de radioactivitat.

Les dades que es recullen sistemàticament a través d'aquests PVRA indiquen que la incidència radiològica de les instal·lacions sobre el medi ambient és insignificant i que els valors mesurats es deuen fonamentalment a la radiació natural, que varia d'uns llocs a uns altres en funció de les característiques del terreny i de l'altura a la qual es troba.

A Espanya, també hi ha la Xarxa d'Alerta a la Radioactivitat, amb més de 900 estacions de mesurament que registren i transmeten, en temps real, les dades de radiació ambiental, tant a Protecció Civil com al Consell de Seguretat Nuclear. Aquesta xarxa, de menor sensibilitat i precisió que l'anterior, té per objecte principal detectar qualsevol situació accidental o fuga incontrolada de material radioactiu a l'atmosfera, originada dins o fora de les fronteres espanyoles.

PERSPECTIVES DE FUTUR A LLARG TERMINI

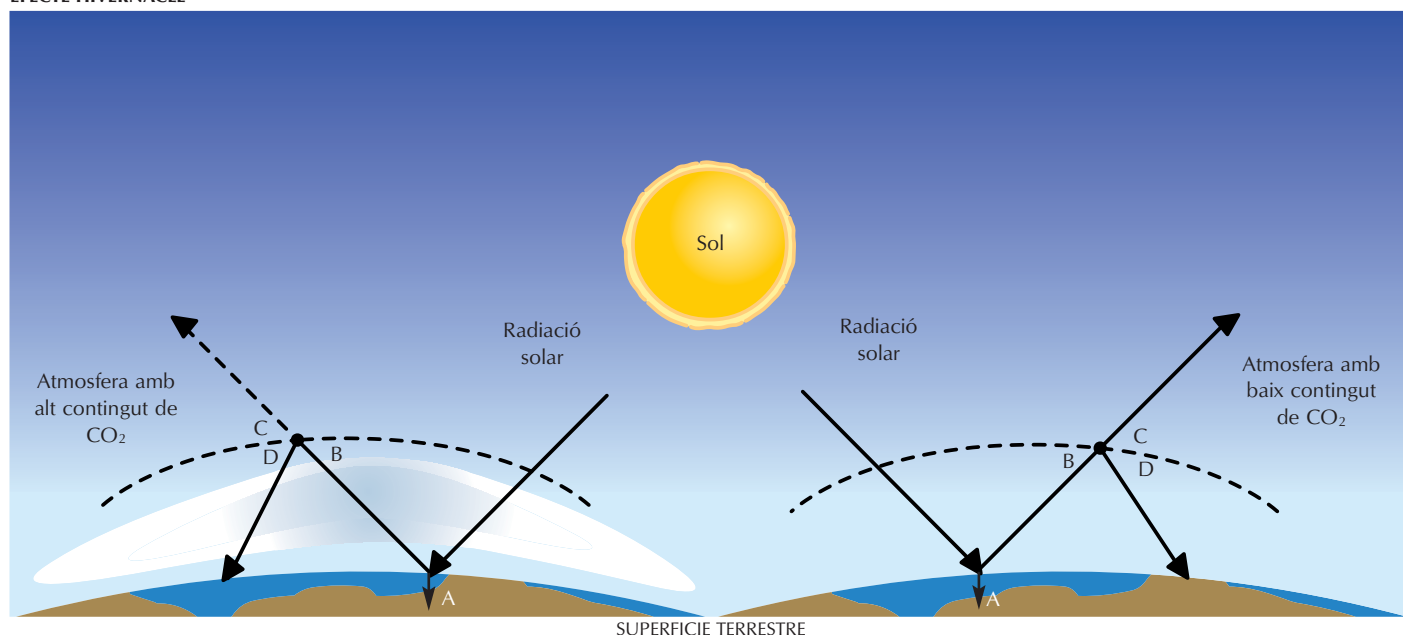
Tot sembla indicar que l'energia nuclear continuarà impulsant-se en el futur, ja que la demanda creixent d'electricitat fa que nous països hi continuïn s'afegeixin a la llista dels que ja la utilitzen. El canvi climàtic és un factor que juga també a favor d'aquesta energia, ja que en no emetre gasos d'efecte hivernacle no afecta el clima de la Terra.

Gairebé tots els reactors actuals són del tipus LWR (Light Water Graphite Reactor - de grafit i aigua lleugera) i es preveu que les futures instal·lacions facin servir aquest tipus -més desenvolupat- mentre s'experimenta amb noves tecnologies.

Els reactors anomenats de quarta generació, actualment en estudi per part de consorcis i organismes internacionals, deixaran de basar-se probablement en la concepció clàssica de reactors d'aigua i urani enriquit, i tindran un major nivell de seguretat que els actuals. Seran, per tant, més segurs, més eficients i amb menys residus radioactius.

Aquesta tecnologia es fonamenta en sis tipus de reactors, que es diferencien bàsicament en el refrigerant que fan servir (sal fosa, gas, plom, sodi o aigua en condicions especials). Es creu que podran entrar en funcionament l'any 2030.

EFECTE HIVERNACLE



A: Energia absorbida per la terra.

B: Energia calorífica reflectida per la terra.

C: Fracció d'energia reflectida que torna a l'espai.

D: Fracció de energia reflectida absorbida per l'atmosfera.

Quant més gran és la concentració de CO₂ a l'atmosfera més gran és D en relació a C, i la temperatura de la terra augmenta.

GLOSSARI

Àtom:

Menor quantitat d'un element químic que té existència pròpia. Es compon d'un nucli, format per protons i neutrons, i d'una escorça formada per electrons.

Becquerel (Bq):

Unitat d'activitat radioactiva del Sistema Internacional, equivalent a una desintegració per segon.

Isòtop:

Cadascun dels elements químics que tenen el mateix nombre de protons i distint nombre de neutrons

Neutró:

Partícula elemental sense càrrega elèctrica i que juntament amb els protons formen els nuclis atòmics.

Neutró:

Neutró que es troba aproximadament en equilibri tèrmic amb el mitjà que es mou.

Potència elèctrica:

Capacitat de produir electricitat per unitat de temps.

Protó:

Partícula elemental de càrrega elèctrica positiva, que constitueix el nucli dels àtoms juntament amb els neutrons, i que el seu nombre, denominat nombre atòmic, determina les propietats químiques de l'àtom.



Govern de les Illes Balears

Conselleria de Comerç, Indústria i Energia
Direcció General d'Energia