

O Brasil na Formação de Pessoal na área de Engenharia Nuclear

*Profa. Cláudia Pereira
Departamento de Engenharia Nuclear
Escola de Engenharia*

LAS 10 PRINCIPALES APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA NUCLEAR

1



ELECTRICIDAD

En España, más del 20% de la electricidad consumida anualmente se produce en las centrales nucleares.

2



MEDICINA

Las técnicas de diagnóstico y tratamiento de la medicina nuclear son fiables y precisas: radiofármacos, gammagrafía, radioterapia, esterilización...

3



HIDROLOGÍA

Los isótopos se utilizan para seguir los movimientos del ciclo del agua e investigar las fuentes subterráneas y su posible contaminación.

4



AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN

Control de plagas de insectos, mejora de las variedades de cultivo, conservación de alimentos...

5



MINERÍA

A través de sondas nucleares se puede determinar la composición de las capas de la corteza terrestre.

6



INDUSTRIA

Los isótopos y radiaciones se usan para el desarrollo y mejora de los procesos industriales, el control de calidad y la automatización.

7



ARTE

Las técnicas nucleares permiten comprobar la autenticidad y antigüedad de las obras de arte, así como llevar a cabo su restauración.

8



MEDIO AMBIENTE

Técnicas como el Análisis por Activación Neutrónica permiten la detección y el análisis de diversos contaminantes.

9



EXPLORACIÓN ESPACIAL

Las pilas nucleares se utilizan para alimentar la instrumentación de satélites y de sondas espaciales.

10

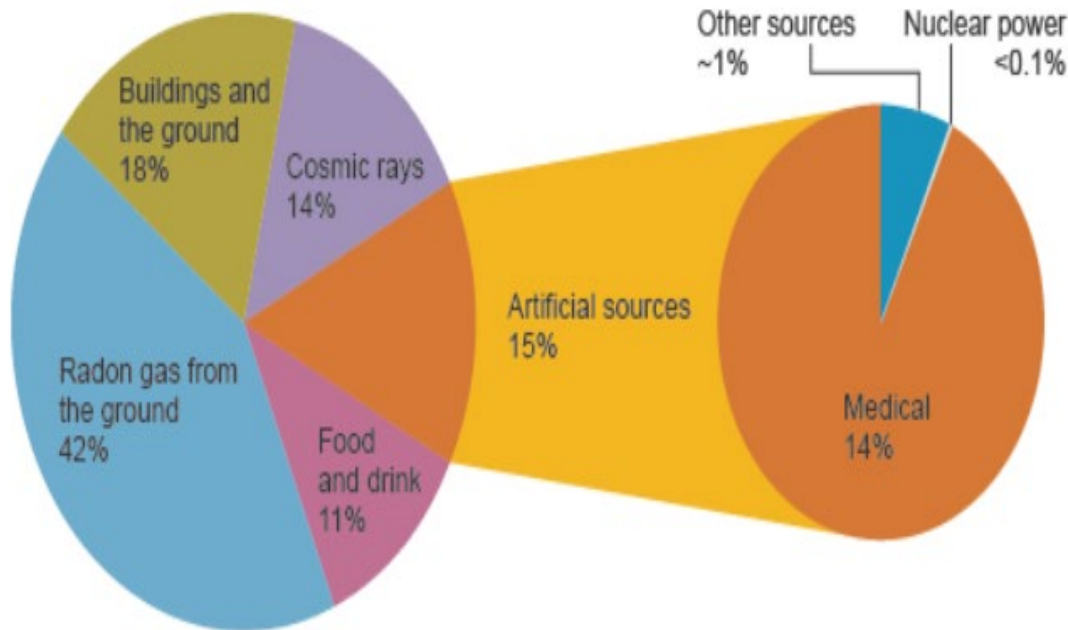


COSMOLOGÍA

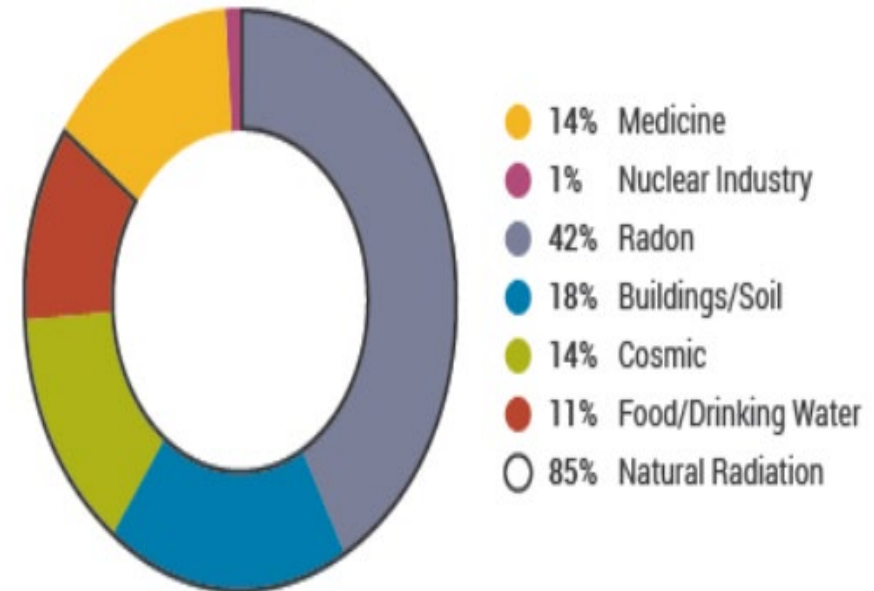
El estudio de la radiactividad de los meteoritos permite confirmar la antigüedad del universo.

<http://www.world-nuclear.org/nuclear-basics/what-is-radiation.aspx>

Background Radiation



Sources of Radiation





Concentração radioisótopos em água engarrafada

Table 1. ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{210}Pb arithmetic mean concentrations (in $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1} \pm$ standard deviation) in 35 samples of bottled mineral waters commercially available in São Paulo and Minas Gerais States

Sample (n)*	^{226}Ra	^{228}Ra	^{210}Pb
Lambari MG(1)	136 \pm 17	87 \pm 25	–
Magna MG(1)	24 \pm 21	27 \pm 10	–
Minalba SP(6)	8.6 \pm 1.0	16 \pm 2	18 \pm 5
Minalba c/gas SP(2)	9.5 \pm 0.6	22 \pm 1	13 \pm 2
São Lourenço MG(3)	647 \pm 84	741 \pm 48	28 \pm 4
Prata SP(3)	47 \pm 6	15 \pm 2	16 \pm 1
Prata c/gas SP(1)	42 \pm 4	14 \pm 3	85 \pm 1
Levissima SP(3)	21 \pm 1	42 \pm 3	11 \pm 3
Ibirá SP(2)	10 \pm 1	18 \pm 0	7.2 \pm 2.0
Embú SP(3)	15 \pm 1	15 \pm 2	6.2 \pm 1.2
Araxá MG(1)	57 \pm 19	53 \pm 3	–
Crystal SP(2)	15 \pm 1	29 \pm 2	5.7 \pm 1.9
Indaiá SP(2)	11 \pm 1	17 \pm 2	24 \pm 3
Lindoya SP(1)	3.3 \pm 0.1	23 \pm 2	22 \pm 1
Lindoya Genuína SP(2)	13 \pm 1	24 \pm 5	13 \pm 1
Nestlé SP(1)	<LLD	12 \pm 1	<LLD
Santa Barbara SP(1)	<LLD	18 \pm 1	<LLD
Average:	63	69	18

* Number of samples analyzed.

LLD(lower limit of detection): $^{226}\text{Ra} = 2.2 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$; $^{228}\text{Ra} = 3.7 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$; $^{210}\text{Pb} = 4.9 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$.

MG = Minas Gerais State.

SP = São Paulo State.

✓ A principal fonte de exposição à radiação natural em minas é decorrente dos produtos de decaimento do radônio.



✓ Limite máximo permissível recomendado: 1.000 Bq/m³ (ICRP115, 2010; BSS-15/ IAEA, 2011; CNEN-NN-4.01, 2005)

Mineração	Principal Produto Mineral	Rocha Encaixante	Situação da mina	Concentração de radônio na fase I do projeto (kBq.m ⁻³)
Mina A	Algamatolito	Cima/capa: granito riolito Baixo/lapa: formação ferrífera (grupo Nova Lima) Área de transição: Milonito ou xisto de granito	Mina vistada duas vezes: na primeira visita estava parada* e na segunda visita estava em operação	6,5 ± 0,3
Mina B	Carvão	Siltito	Em operação	3,0 ± 0,1
Mina C	Esmeralda	Cima/capa: Pegmatito Baixo/lapa: Anfibolio Gnaiss	Em operação	3,0 ± 0,5
Mina D	Turmalina	Xisto ou Quartzo	Em operação	6,9 ± 0,1
Mina E	Scheelita	Calco Silicato	Parada*	1,2 ± 0,1
Mina F	Fluorita	Traquito	Em operação	2,5 ± 0,1

Radiodiagnóstico

Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT)

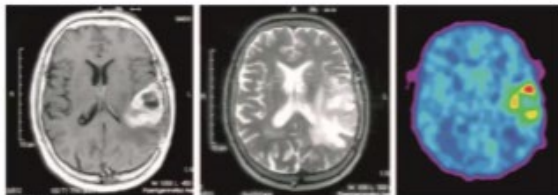


Single photon emission computed tomography (SPECT)

Positron emission tomography (PET)



Brain tumour imaged by CT, MRI and PET

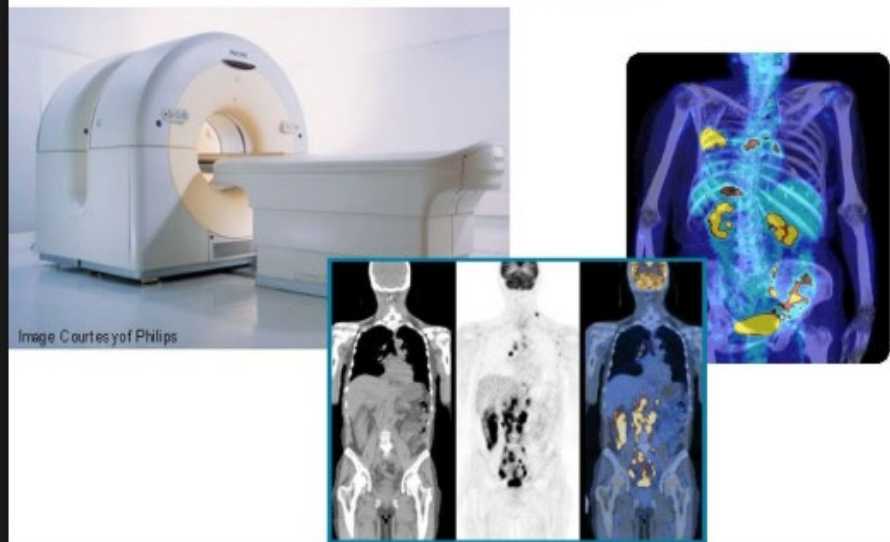


Características do SPECT

- Utiliza de duas a três gama câmaras;
- Detecta raios- γ ;
- Aquisição de dados por retroprojeção ou técnicas iterativas;
- Gira ao redor do paciente 360° devido a distância fonte-detector afeta a distribuição espacial de espalhamento no corpo;
- Várias imagens em 3D;
- Detector mais utilizado: Nal(Tl).

Gamma Câmara - Cintilografia - PET Tomografia por Emissão de Pósitrons

PET/CT – Tomografia por emissão de pósitron/Tomografia computadorizada



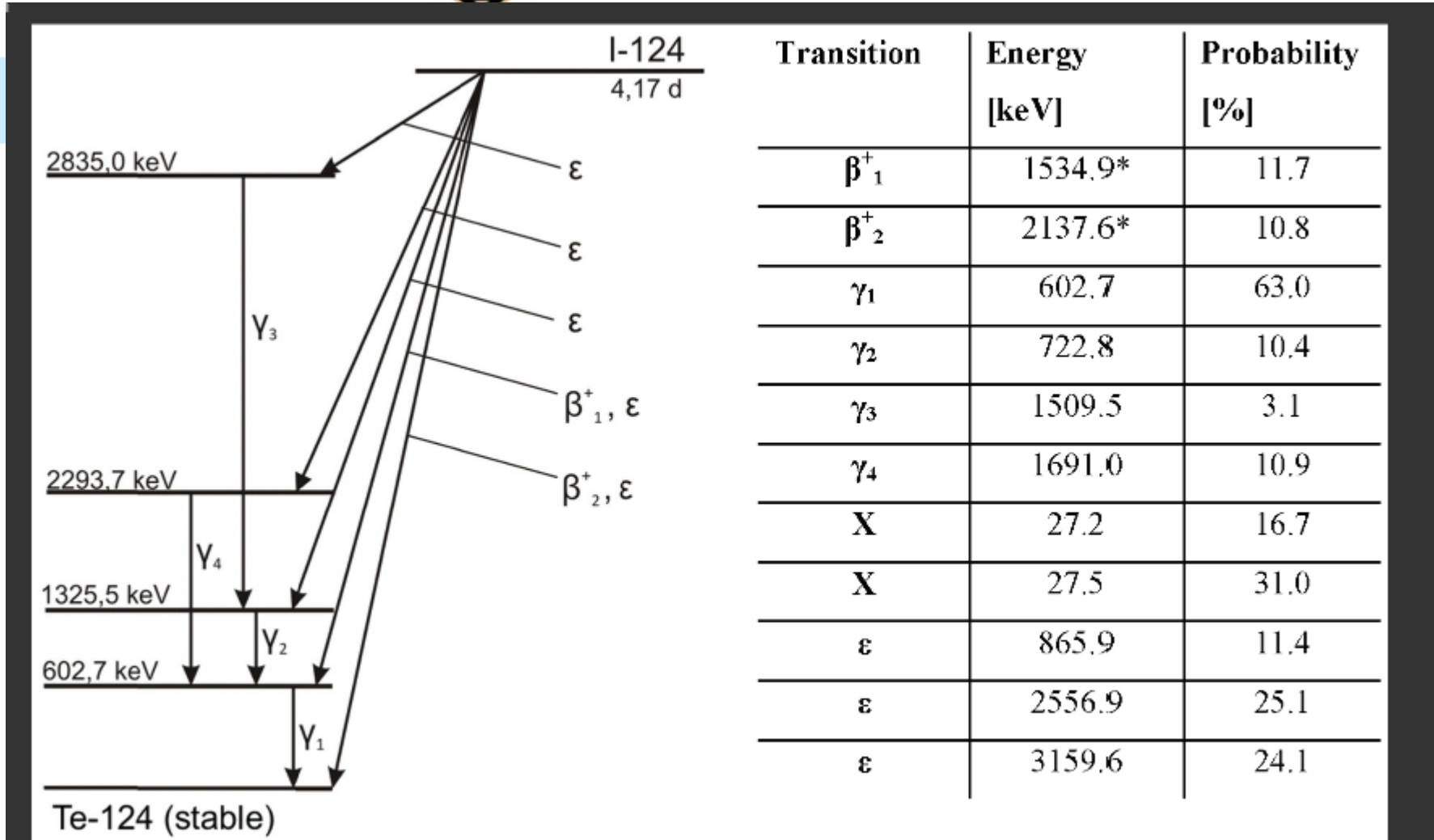
Radionuclídeo	Meia vida (min)	Radiotraçador	Aplicação Clínica
^{18}F	109.7	^{18}F FDG Fluorodesoxig lucose	Oncologia, Inflamação, Viabilidade cardíaca
^{11}C	20.4	^{11}C -palmitato	Metabolismo cardíaco
^{15}O	2.07	H_2^{15}O	Fluxo sanguíneo cerebral
^{13}N	9.96	$^{13}\text{NH}_3$	Fluxo sanguíneo cardíaco
^{82}Rb	1.27	$^{82}\text{RbCl}_2$	Perfusão cardíaca

Os radionuclídeos mais comumente usados são:

- **Gálio 67** - Utilizado para detectar câncer em certos órgãos. Também pode ser usado para uma varredura do corpo inteiro.
- **Tecnécio 99** - É usado em exames de corpo inteiro, especialmente na cintilografia óssea, um exame para detectar a disseminação do câncer.
- **Tálio 201** - Frequentemente utilizado no estudo de doenças cardíacas. Pode ser utilizado para detectar alguns tipos de câncer.
- **Iodo 123 ou Iodo 131** - São utilizados no diagnóstico e no tratamento do câncer de tireoide.

Radiofármacos para SPECT e Cintilografia

Radiotraçador	Meia-vida (horas)	Energia da radiação gama (keV)	Aplicação Clínica
^{99m}Tc	6.0	140	Varias
^{67}Ga	76.8	93, 185, 300, 394	Detecção de Tumores
^{201}Tl	72	167	Viabilidade miocárdica
^{133}Xe	127.2	81	Ventilação pulmonar
^{111}In	67.2	171, 245	inflamação

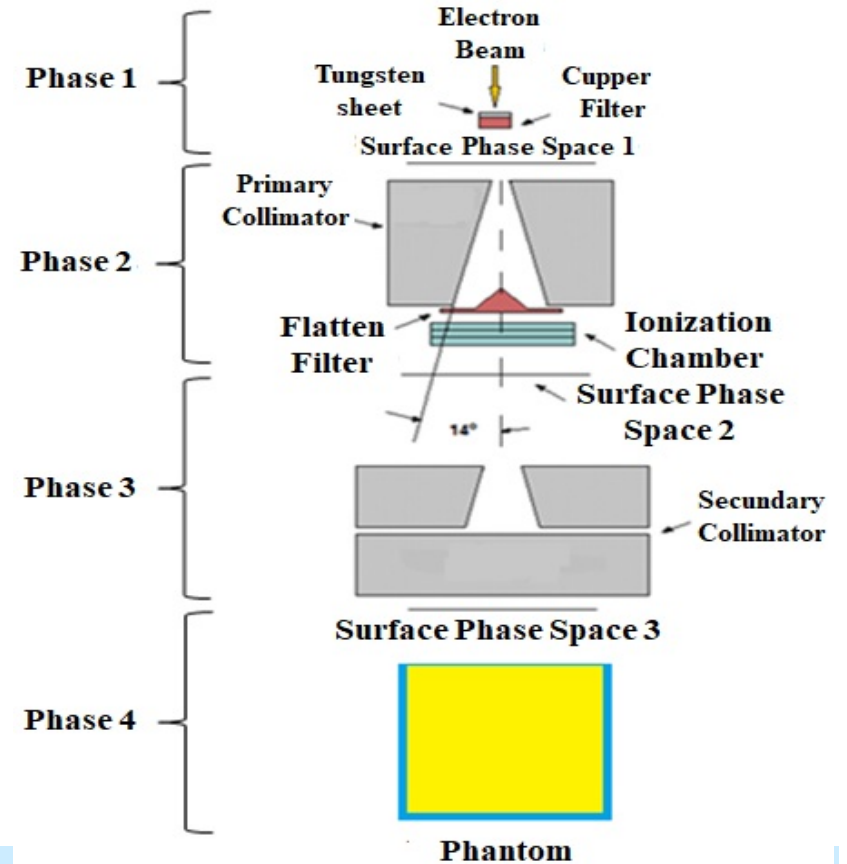


Radioelemento, radionuclídeo ou radioisótopo?

Main isotopes of iodine

Iso- tope	Abun- dance	Half-life ($t_{1/2}$)	Decay mode	Pro- duct
^{123}I	syn	13 h	ϵ, γ	^{123}Te
^{124}I	syn	4.176 d	ϵ	^{124}Te
^{125}I	syn	59.40 d	ϵ	^{125}Te
^{127}I	100%	stable		
^{129}I	trace	1.57×10^7 y	β^-	^{129}Xe
^{131}I	syn	8.02070 d	β^-, γ	^{131}Xe
^{135}I	syn	6.57 h	β^-	^{135}Xe

Aceleradores - VARIAN - ELEKTA

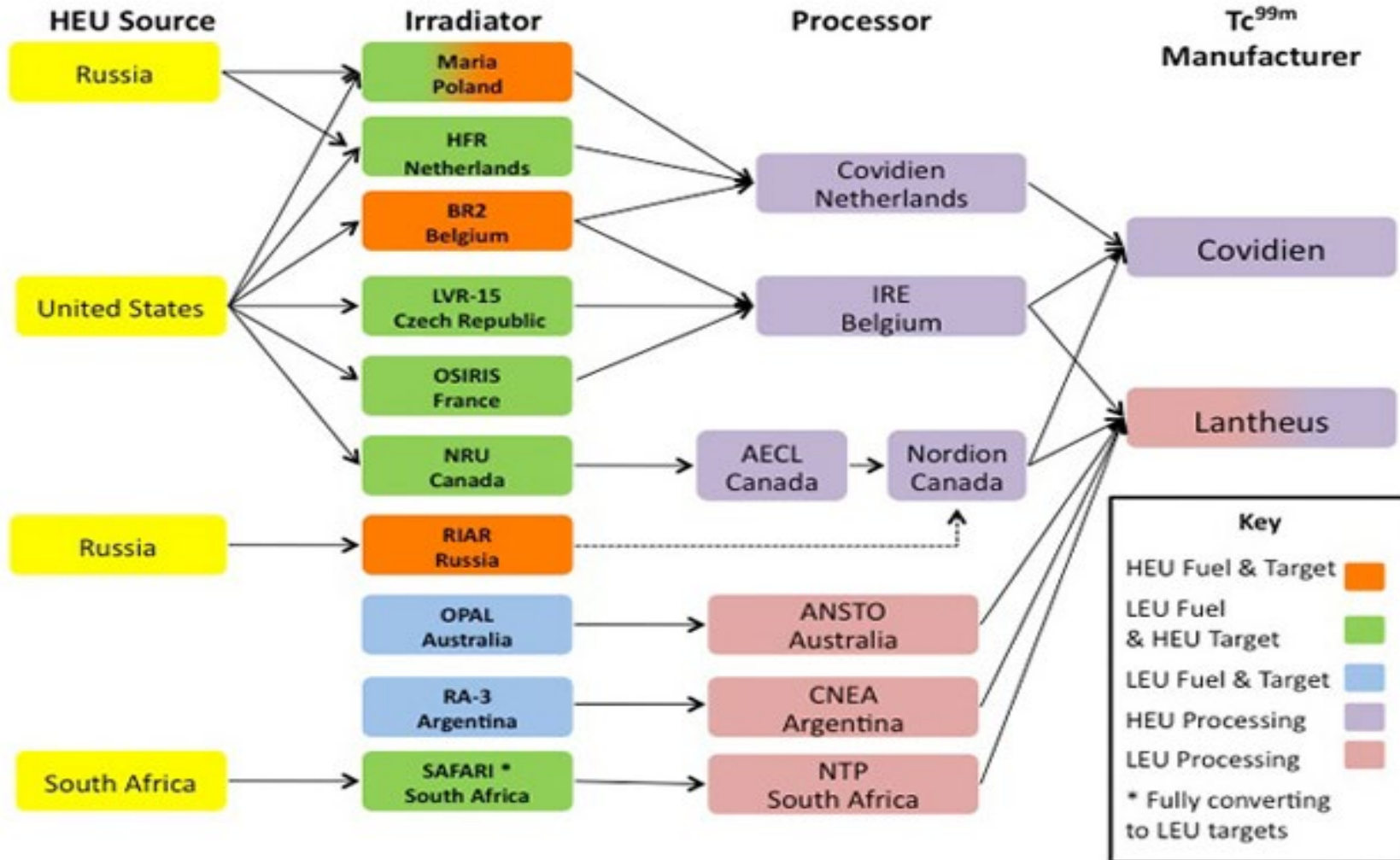


Radioterapia - Braquiterapia

Table 1. Data relevant for radiation protection in brachytherapy

Nuclide	Mean energy (in MeV) of emitted photons	Half life	Fi in (i
^{198}Au	0.42	2.7 day	2.
^{60}Co	1.25	5.3 years	1:
^{137}Cs	0.66	30 years	6.
^{125}I	0.029	60 days	0.
^{103}Pd	0.021	17 days	-
^{192}Ir	0.35	74 days	2.
^{226}Ra	0.78	1620 years	1:

U.S. Mo-99 Supply Chain (excludes target manufacturers)



Aplicações de Radiotraçadores na Indústria

APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

GAMMAGRAFIA INDUSTRIAL



Irradiación de alimentos



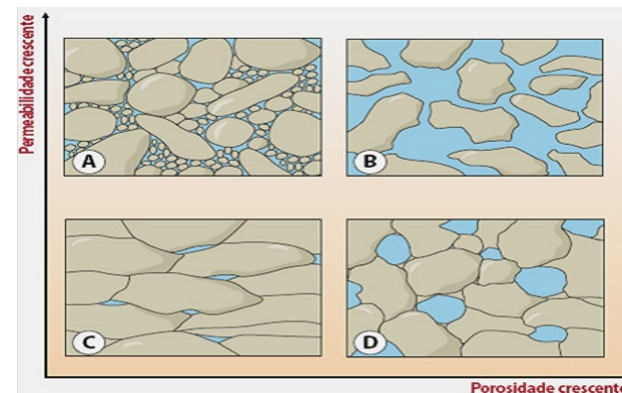
No irradiado irradiado

Trazadores radioactivos



Radiotrazadores en estudio de transporte de contaminantes derivados de la actividad minera e industrial.

Perfilagem de poços de petróleo



GR (Th,U,K),RHOB (perfil de densidade) e NPHI (perfil de porosidade - neutrônico)



NASA's Curiosity rover is powered by a 238Pu RTG, meaning it can continue to operate under intense Martian dust storms. ESA is looking to develop RTGs based on 241Am (Image: NASA-JPL-Caltech-MSSSS)

Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator (MMRTG). Source: NASA

MMRTG technology is being used in the NASA [Mars Science Laboratory](#) mission's rover *Curiosity* (see below image), which at 890 kg is about five times the mass of previous Mars rovers. Another rover project, Mars 2020, will utilise the MMRTG, and is planned for launch in 2020.

	SNAP-10 US	SP-100 US	Romashka Russia	Bouk Russia	Topaz-1 Russia	Topaz-2 Russia-US	SAFE-400 US	ERATO* France
Start decade	1960s	1980s	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s?	1980s
kWt	45.5	2000	40	<100	150	135	400	
kWe	0.65	100	0.8	<5	5-10	6	100	20
Converter	t'electric	t'electric	t'electric	t'electric	t'ionic	t'ionic	t'electric	t'electric
Fuel	U-ZrH _x	UN	UC ₂	U-Mo	UO ₂	UO ₂	UN	UO ₂ , UN
Reactor mass, kg	435	5422	455	<390	320	1061	512	
Neutron spectrum	thermal	fast	fast	fast	thermal	thermal/ epithermal	fast	fast/ epith
Control	Be	Be	Be	Be	Be	Be	Be	
Coolant	NaK	Li	none	NaK	NaK	NaK	Na	Na, gas
Core temp., °C max	585	1377	1900	?	1600	1900?	1020	840

TABLE 2.1 U.S. Spacecraft Using Radioisotope Power Systems

Spacecraft	Power Source	No. of RPSs	Mission Type	Launch Date	Location
Transit 4A	SNAP-3B7	1	Navigational	06/29/1961	Currently in orbit
Transit 4B	SNAP-3B8	1	Navigational	11/15/1961	Currently in orbit
Transit 5BN-1	SNAP-9A	1	Navigational	09/28/1963	Currently in orbit
Transit 5BN-2	SNAP-9A	1	Navigational	12/05/1963	Currently in orbit
Transit 5BN-3	SNAP-9A	1	Navigational	04/12/1964	Reentered; burned up
Nimbus B-1	SNAP-19B2	2	Meteorological	05/18/1968	Aborted; retrieved
Nimbus III	SNAP-19B3	2	Meteorological	04/14/1969	Currently in orbit
Apollo 12	SNAP-27	1	Lunar/ALSEP	11/14/1969	On lunar surface
Apollo 13	SNAP-27	1	Lunar/ALSEP	04/11/1970	Reentered in South Pacific
Apollo 14	SNAP-27	1	Lunar/ALSEP	01/31/1971	On lunar surface
Apollo 15	SNAP-27	1	Lunar/ALSEP	07/26/1971	On lunar surface
Pioneer 10	SNAP-19	4	Planetary/Sun escape	03/02/1972	Heliosheath
Apollo 16	SNAP-27	1	Lunar/ALSEP	04/16/1972	On lunar surface
Triad-01-1X	Transit-RTG	1	Navigational	09/02/1972	Currently in orbit
Apollo 17	SNAP-27	1	Lunar/ALSEP	12/07/1972	On lunar surface
Pioneer 11	SNAP-19	4	Planetary/Sun escape	04/05/1973	Heliosheath
Viking 1	SNAP-19	2	Mars Lander	08/20/1975	On martian surface
Viking 2	SNAP-19	2	Mars Lander	09/09/1975	On martian surface
LES 8, LES 9	MHW-RTG	2, 2	Communication	03/14/1976	Currently in orbit
Voyager 2	MHW-RTG	3	Planetary/Sun escape	08/20/1977	Heliosheath
Voyager 1	MHW-RTG	3	Planetary/Sun escape	09/05/1977	Heliosheath
Galileo	GPHS-RTG	2	Planetary (Jupiter)	10/18/1989	Intentionally deorbited into Jupiter
Ulysses	GPHS-RTG	1	Solar and space physics	10/06/1990	Heliocentric, polar orbit
Cassini	GPHS-RTG	3	Planetary (Saturn)	10/15/1997	Operating at Saturn
New Horizons	GPHS-RTG	1	Planetary/Sun escape	01/19/2006	En route to Pluto

NOTE: ALSEP, Apollo Lunar Surface Experiments Package; GPHS, general purpose heat source; LES, Lincoln Experimental Satellite; MHW, Multi-hundred Watt; RTG, radioisotope thermoelectric generator; SNAP, Systems for Nuclear Auxiliary Power.

SOURCES: Data from G.L. Bennett, J.J. Lombardo, and B.J. Rock, "Development and use of nuclear power sources for space applications," *Journal of the Astronautical Sciences* 29 (October-December):321-342, 1981; N.L. Johnson, "Nuclear power supplies in orbit," *Space Policy* 2:223-233, 1986; G.L. Bennett, "Space Nuclear Power: Opening the Final Frontier," AIAA 2006-4191, p. 2, presentation at 4th International Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit, San Diego, Calif., June 26-29, 2006.

Radioisotopes production for nuclear medicine

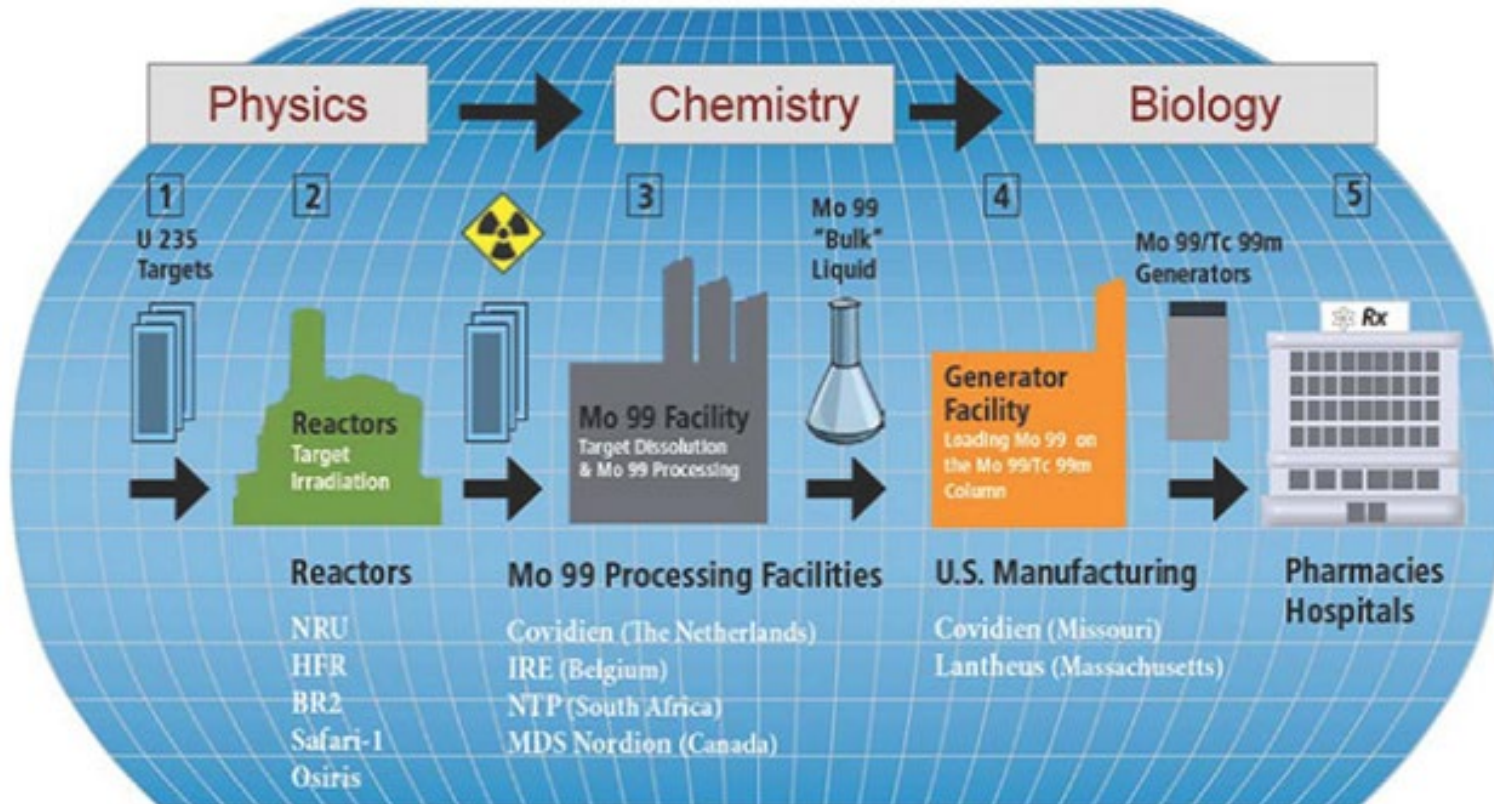
Currently there are in Europe over 12 million medical procedures per year (diagnostic and therapy) using radioisotopes, i.e. more than 30,000 procedures per day. About 90% of radioisotopes are used for diagnostic purposes and 10% for therapies.



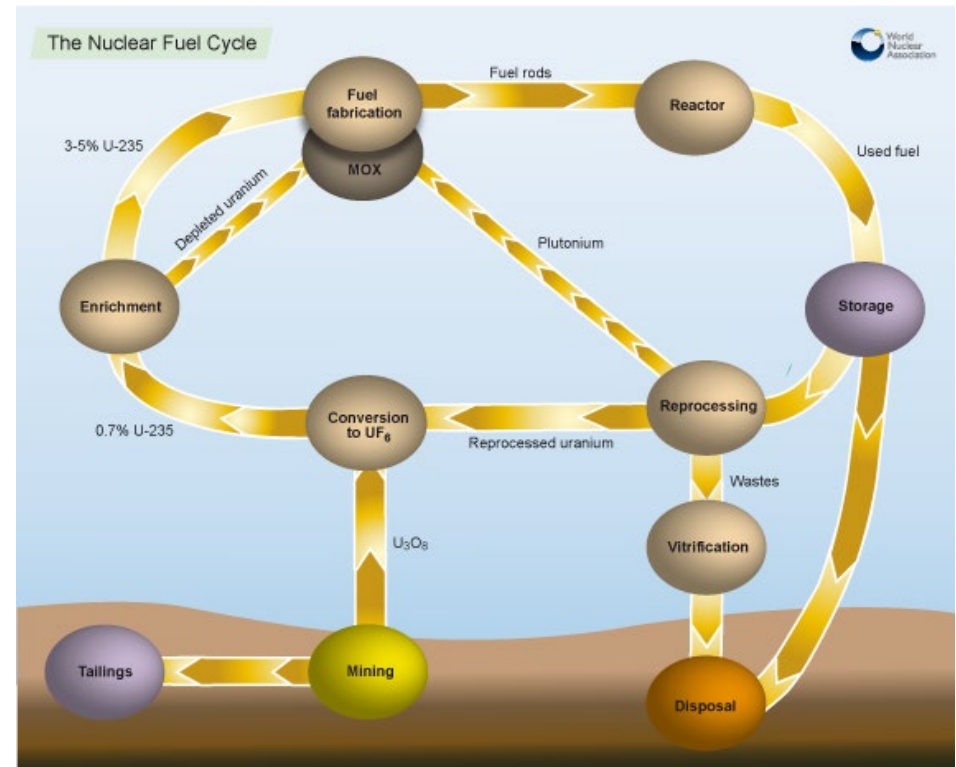
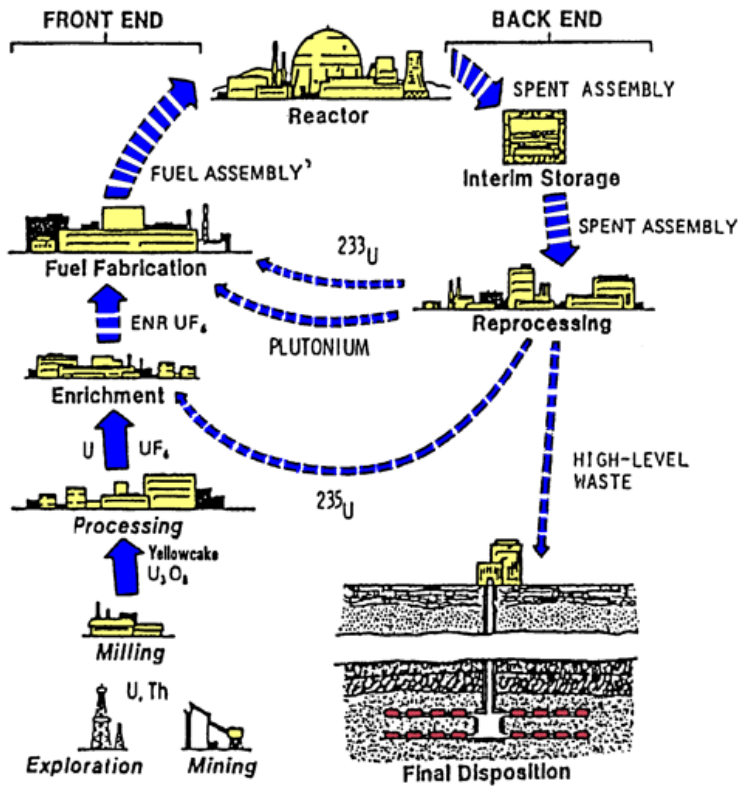
Radioisotopes production with a cyclotron

Invented in the early 1930s by the American physicist Ernest Lawrence, the cyclotron was the first particle accelerator. It is used today in large hospitals to locally produce radioactive very short lived tracers such as fluorine-18 used in Positron Emission Tomography in the screening and localization of cancerous cells.

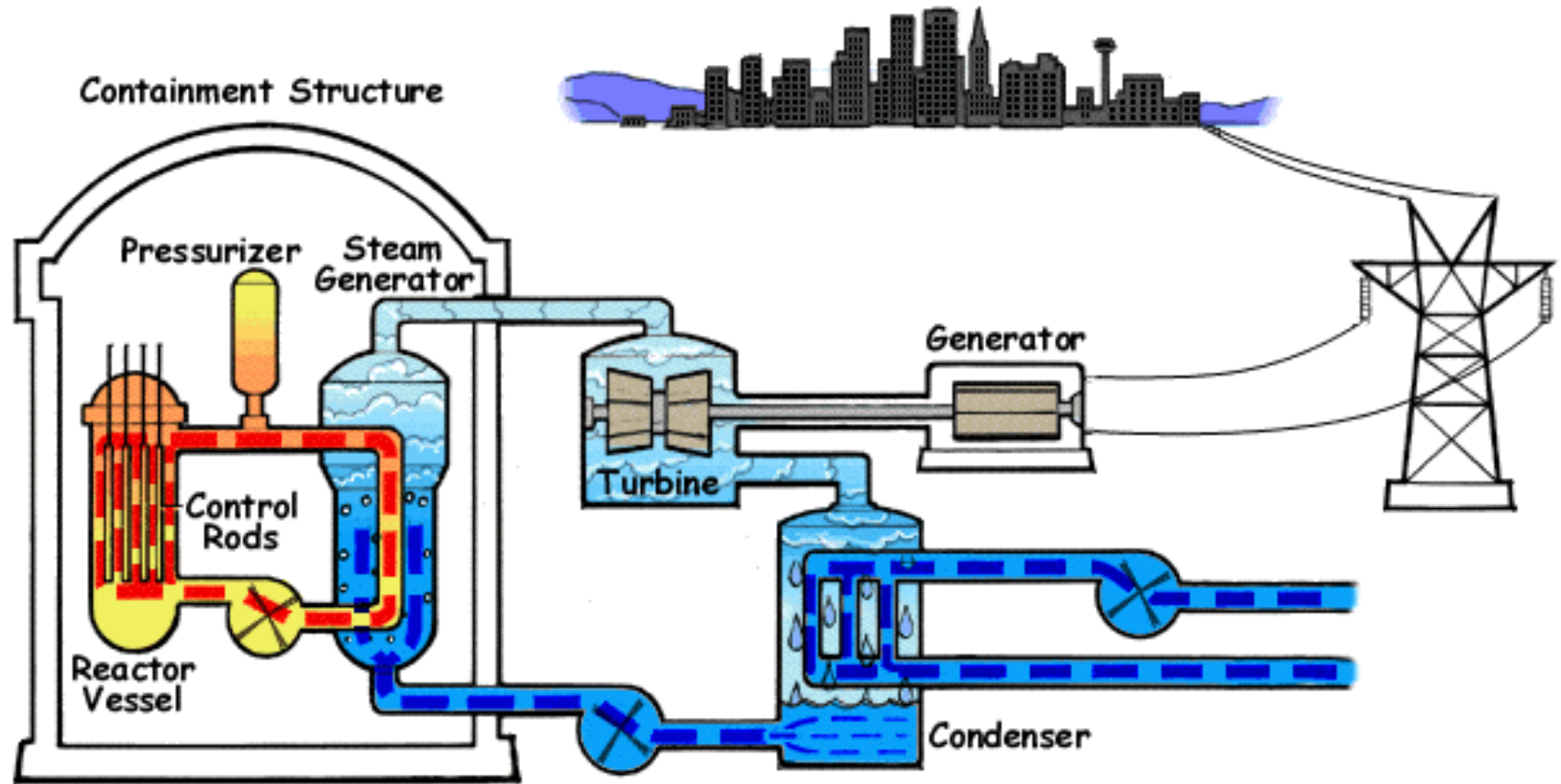
©FP et hôpital Saint-Louis



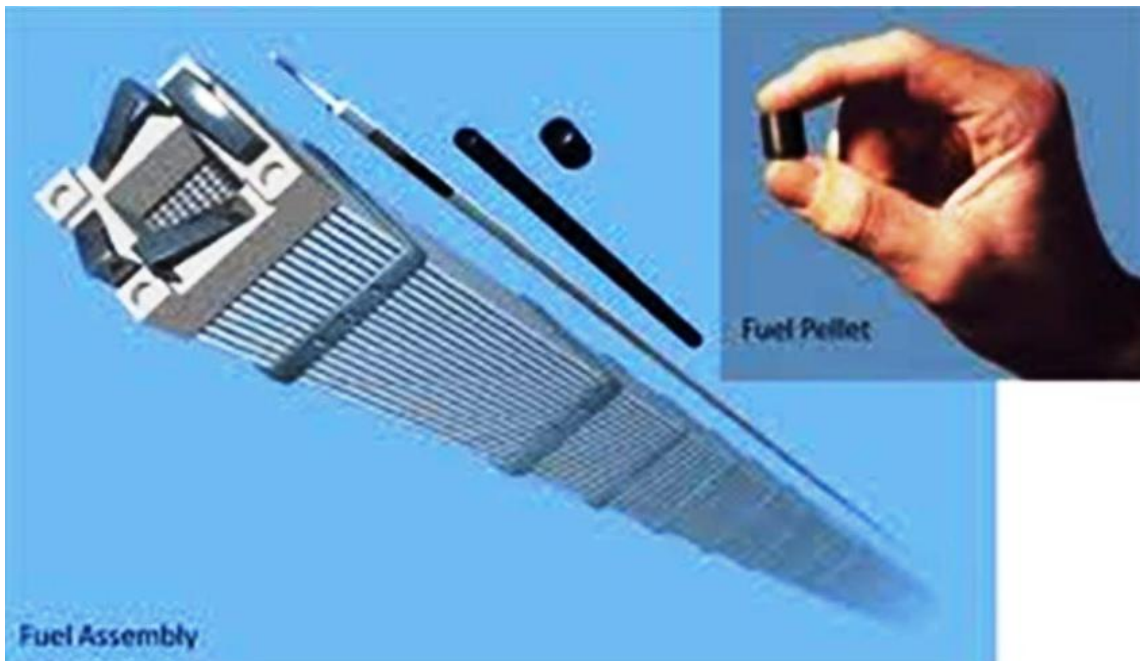
Engenharia Nuclear



PWR - Tipo Angra I, II e III



Energia Nuclear



1 pastilha = 550 mil litros de óleo diesel

22 caminhões



Major Long-lived Nuclides in Spent Nuclear Fuel



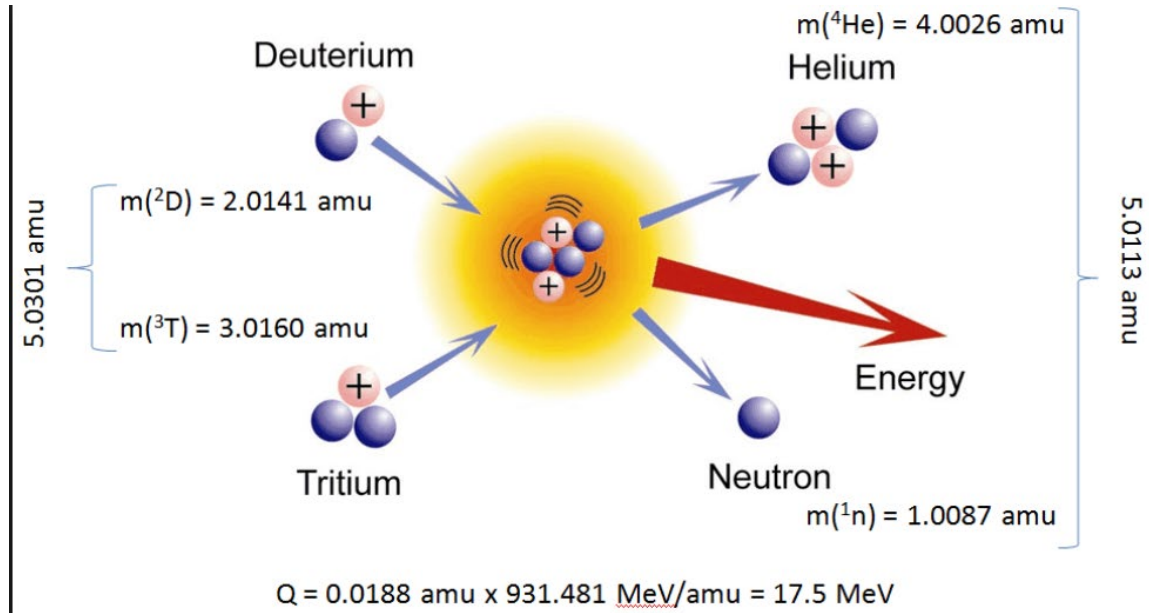
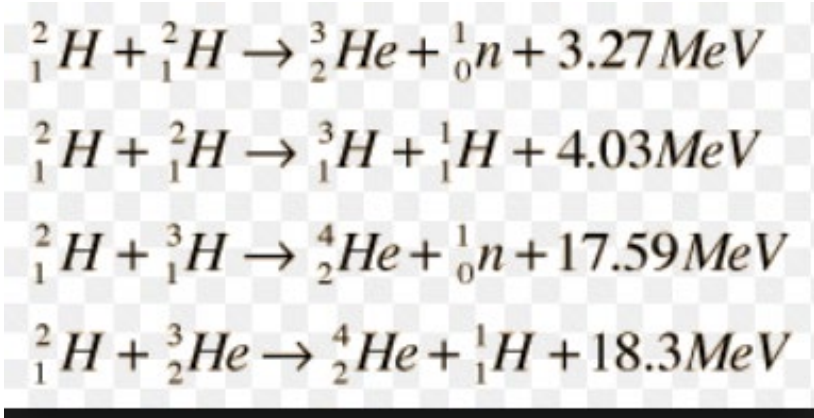
Actinides			
Trans-uranic elements (TRU)			
Nuclide	Half-life (year)	Dose coefficient ($\mu\text{Sv/kBq}$)	Mass (per 1tHM)
U-235	0.7B	47	10kg
U-238	4.5B	45	930kg
Minor actinides (MA)			
Nuclide	Half-life (year)	Dose coefficient ($\mu\text{Sv/kBq}$)	Mass (per 1tHM)
Pu-238	87.7	230	0.3kg
Pu-239	24k	250	6kg
Pu-240	6.6k	250	3kg
Pu-241	14.3	4.8	1kg
Nuclide	Half-life (year)	Dose coefficient ($\mu\text{Sv/kBq}$)	Mass (per 1tHM)
Np-237	2.14M	110	0.6kg
Am-241	432	200	0.4kg
Am-243	7.4k	200	0.2kg
Cm-244	18.1	120	60g

Fission products (FP)			
Nuclide	Half-life (year)	Dose coefficient ($\mu\text{Sv/kBq}$)	Mass (per 1tHM)
Se-79	0.3M	2.9	6g
Sr-90	28.8	28	0.6kg
Zr-93	1.53M	1.1	1kg
Tc-99	0.21M	0.64	1kg
Pd-107	6.5M	0.037	0.3kg
Sn-126	0.23M	4.7	30g
I-129	15.7M	110	0.2kg
Cs-135	2.3M	2.0	0.5kg
Cs-137	30.1	13	1.5kg

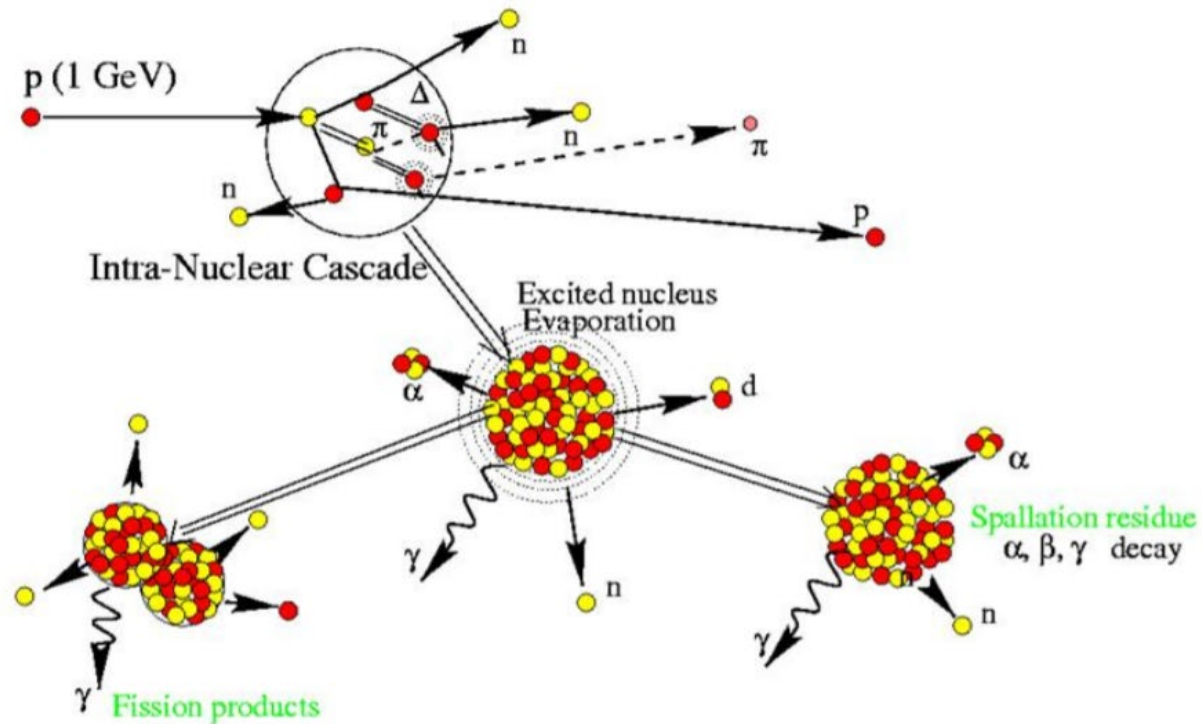
Dose Coefficient:
Committed dose (Sv) per unit intake (Bq), indicating the magnitude of influence of radioactivity to human body. α -activity is more influential than β, γ -activity.

Table 2. Plutonium isotopic composition in fresh MOX fuel

Nuclide	Isotopic composition, w/o in Pu _{total}	
	MOX Case A	MOX Case B
²³⁸ Pu	2.5	0.05
²³⁹ Pu	54.7	93.6
²⁴⁰ Pu	26.1	6.0
²⁴¹ Pu	9.5	0.3
²⁴² Pu	7.2	0.05

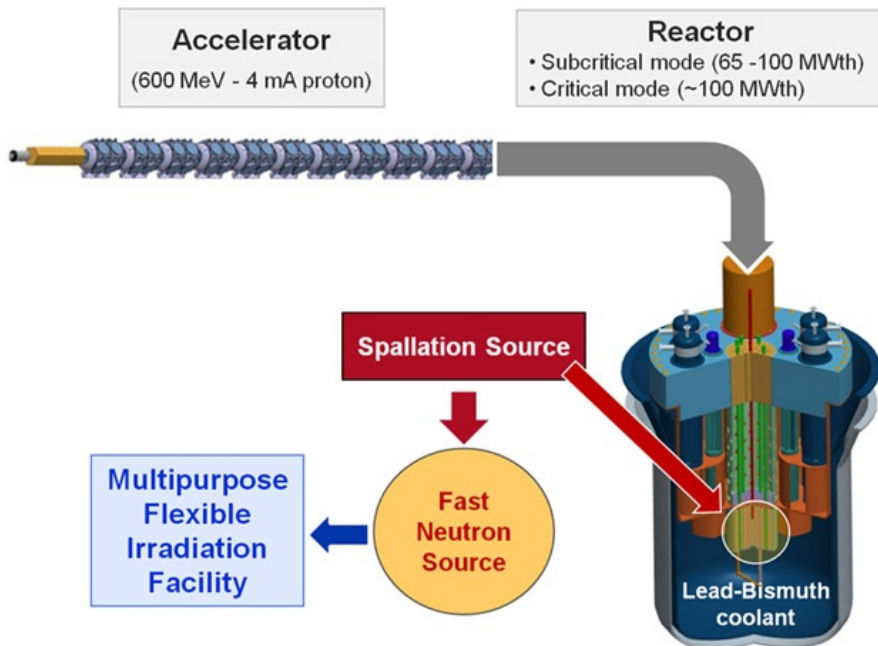


Spallation Reaction

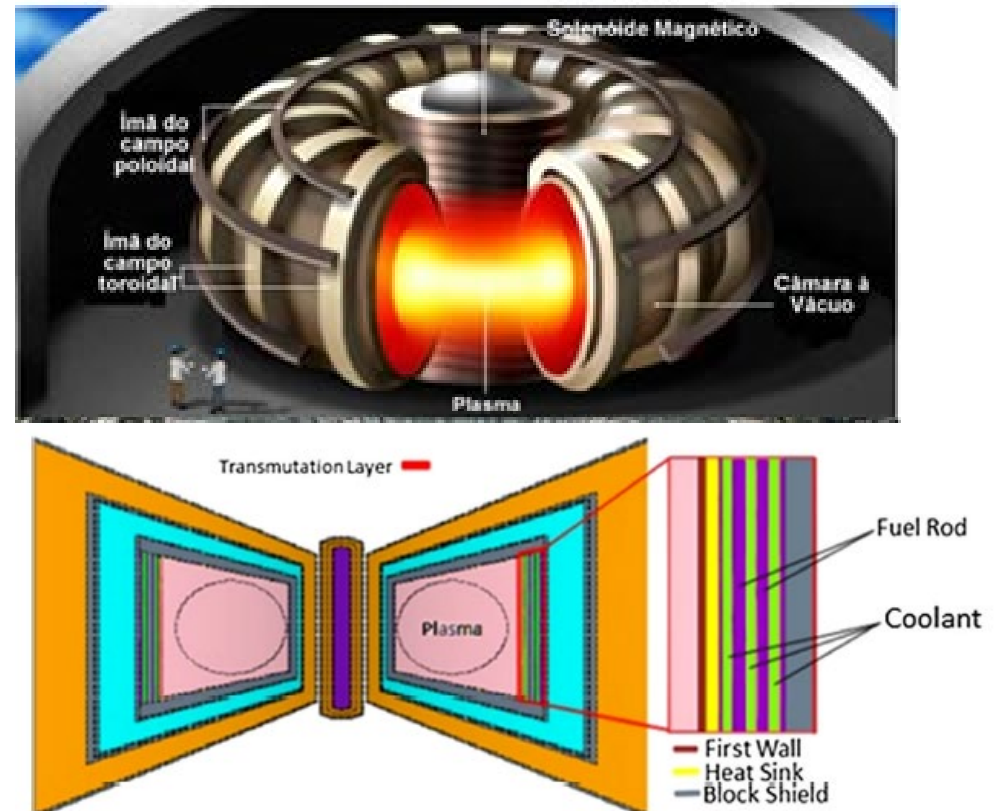


Sistemas Híbridos - Transmutação e Geração de Energia

ADS

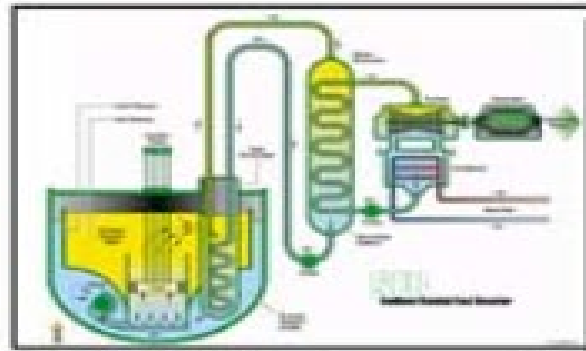


Fusão Nuclear

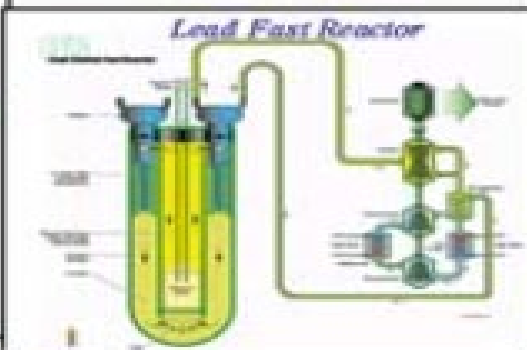


Reatores de quarta geração

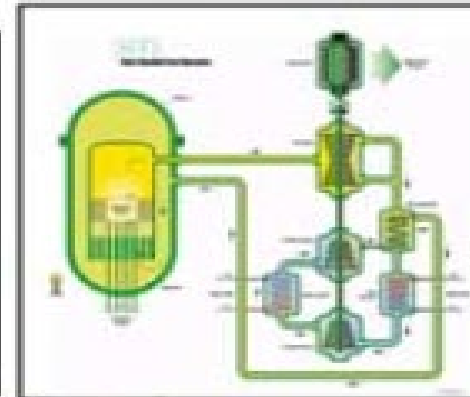
Fig. 1 : Generation IV : six innovative systems



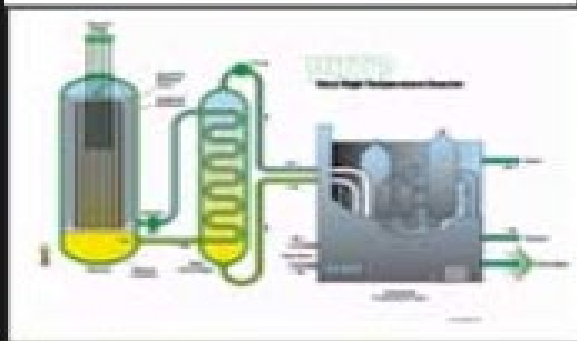
Sodium Fast Reactor



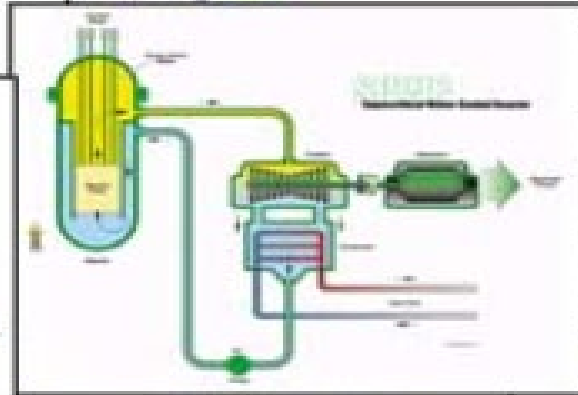
Lead Fast Reactor



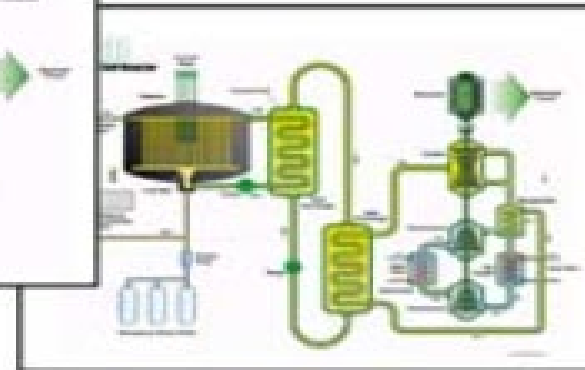
Gas Fast Reactor



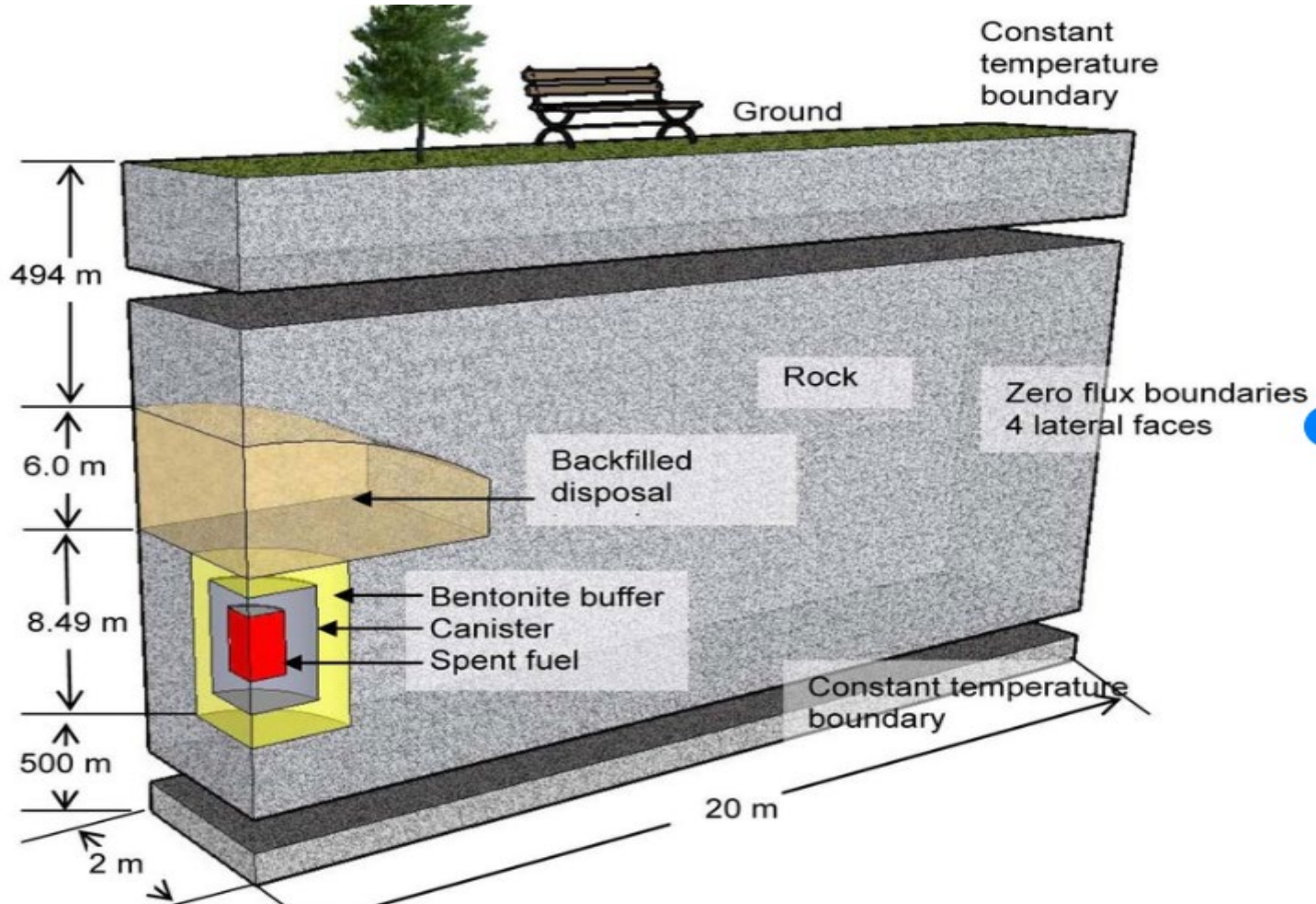
Very High Temperature Reactor



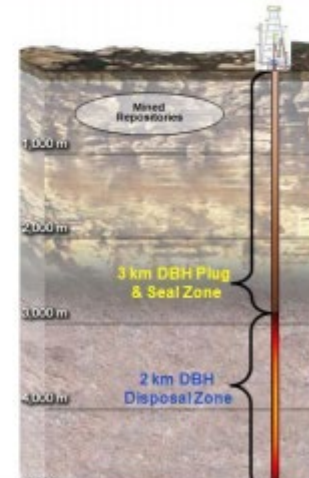
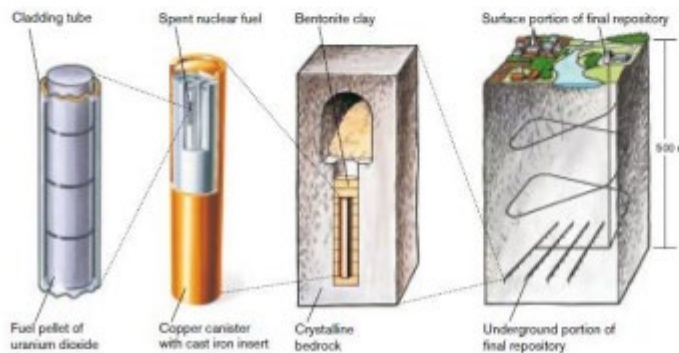
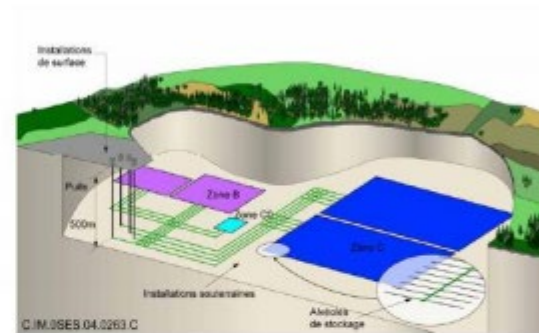
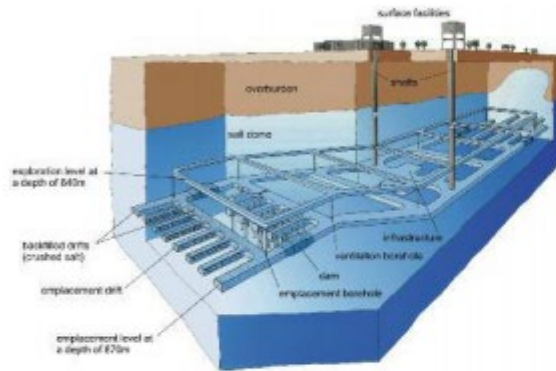
Supercritical Water Reactor



Molten Salt Reactor



Deep geologic disposal has been planned since the 1950s



Nation	Host Rock	Status
Finland	Granitic Gneiss	Construction license granted 2015
Sweden	Granite	License application submitted 2011
France	Argillite	Disposal operations planned for 2025
Canada	Granite, sedimentary rock	Candidate sites being identified
China	Granite	Repository proposed in 2050
Russia	Granite, gneiss	Licensing planned for 2029
Germany	Salt, other	Uncertain
USA	Salt (transuranic waste at the Waste Isolation Pilot Plant) Volcanic Tuff (Yucca Mountain)	WIPP: operating Yucca Mountain: suspended

Others: Belgium (clay), Korea (granite), Japan (sedimentary rock, granite), UK (uncertain), Spain (uncertain), Switzerland (clay), Czech Republic (granitic rock), others including all nations with nuclear power.

Source: Information from Faybishenko et al., 2016

Curso de Graduação - UFRJ - 2010

Engenharia Nuclear

Graduação em Engenharia Nuclear (UFRJ-2010)-(5
anos - 30 vagas/ano)

Engenharia da Energia - Nuclear (algumas disciplinas)

UFPE

UFABC

PUC-MINAS

Graduação

Atuação na Graduação

Diversas disciplinas optativas

Iniciação Científica

Engenharia de Minas - formação complementar em
Fundamentos de Energia Nuclear

Física - Ênfase em Energia Nuclear / Ênfase em Física Médica

Engenharia Ambiental, Engenharia Química, Engenharia Civil,
Engenharia Elétrica

Tecnologia em Radiologia (Faculdade de Medicina)

Disciplinas - Graduação

<http://www.nuclear.ufmg.br/disciplinas/>

Disciplina	Código		Créditos
APLICAÇÕES DE RADIOISÓTOPOS	ENU	001	4
QUESTÕES ENERGÉTICAS	ENU	002	4
RADIOPROTEÇÃO	ENU	003	4
METODOLOGIA E MODELOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	ENU	005	4
FUNDAMENTOS DE ENERGIA NUCLEAR	ENU	006	3
DETECÇÃO DAS RADIAÇÕES E INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR	ENU	007	4
INTRODUÇÃO À ENERGIA NUCLEAR I	ENU	009	4

-Formação baseada em pós-graduação:

especialização

mestrado

doutorado

Sigla Instituição	Nome Fonte: https://sucupira.capes.gov.br	Moda- lidade	Ano de início [1]		Nota Final da Avaliação Quadrienal 2017 (2013-2016)	Do- centes perma- nentes aprox.
			M	D		
UFRJ	ENGENHARIA NUCLEAR	Acad	1968	1979	6	15
UFPE	TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS NUCLEARES	Acad	1977	1997	5	15
UFMG	CIÊNCIAS TÉCNICAS NUCLEARES	Acad	1968	2006	5	11
IME	ENGENHARIA NUCLEAR	Acad	1969	-	3	6
USP/IPEN	TECNOLOGIA NUCLEAR	Acad	1976	1976	6	83
CDTN	CIÊNCIA E TECNOLOGIA DAS RADIAÇÕES, MINERAIS E MATERIAIS	Acad	2002	2010	4	20
IEN	CIÊNCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES	Acad	2004	-	3	12
IRD	RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA	Acad	2001	2011	4	21

Áreas de Concentração

Instituição	Áreas de Concentração
UFRJ	Física Nuclear
	Física de Reatores
	Análise de Segurança
	Engenharia de Fatores Humanos
	Engenharia de Reatores
UFPE	Dosimetria e Instrumentação Nuclear
	Aplicações de Radioisótopos na agricultura e meio-ambiente
	Aplicações de Radioisótopos na indústria e medicina
	Engenharia de Reatores
	Fontes Renováveis de Energia

Áreas de Concentração

Instituição	Áreas de Concentração
UFMG	Engenharia Nuclear e da Energia
	Ciências das Radiações
IME	Instalações Nucleares

Áreas de Concentração

Instituição	Áreas de Concentração
USP/CDTN	Tecnologia Nuclear - Aplicações
	Tecnologia Nuclear - Materiais
CDTN	Ciência e Tecnologia dos Materiais
	Ciência e Tecnologia das Radiações
	Ciência e Tecnologia dos Minerais e Meio Ambiente
	Ciência e Tecnologia de Reatores Nucleares
IEN	Tecnologia e Segurança de Reatores
	Métodos Nucleares Aplicados à Engenharia Nuclear
IRD	Física Médica
	Radioecologia
	Biofísica das Radiações
	Metrologia

PCTN/DEN/UFMG

Áreas de Concentração/Linhas de Pesquisa:

- ▶ **CIÊNCIAS DAS RADIAÇÕES**

- ▶ APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES AO MEIO AMBIENTE
- ▶ APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES À BIOMÉDICA
- ▶ DOSIMETRIA, RADIOPROTEÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR

- ▶ **ENGENHARIA NUCLEAR E DA ENERGIA**

- ▶ AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA, SOCIO-ENERGÉTICA E AMBIENTAL DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
- ▶ TECNOLOGIA DE REATORES NUCLEARES E CICLOS DO COMBUSTÍVEL

FÍSICA DE REATORES II	ENU	826	4	01/01/2012
INTRODUÇÃO À FÍSICA ATÔMICA E NUCLEAR	ENU	822	4	01/01/2012
APLICAÇÕES DE RADIOISÓTOPOS NA INDÚSTRIA	ENU	880	4	01/01/2012
MÉTODOS EXPERIMENTAIS EM FÍSICA DE MEIOS POROSOS	ENU	881	4	01/01/2012
CONCEITOS EM RADIOQUÍMICA APLICADA	ENU	882	4	01/01/2012
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DAS TRANSFORMAÇÕES ENERGÉTICAS	ENU	875	4	01/01/2012
RECURSOS ENERGÉTICOS	ENU	844	4	01/01/2012
CONCEITOS EM RADIOBIOLOGIA APLICADA	ENU	883	4	01/01/2012
PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA	ENU	873	4	01/01/2012
MÉTODOS DE PROJEÇÃO DE DEMANDA E SUPRIMENTO DE ENERGIA	ENU	884	4	01/01/2012
CICLOS DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR	ENU	831	4	01/01/2012
RECURSOS E TECNOLOGIA DA ENERGIA	ENU	885	4	01/01/2012
RADIAÇÕES APLICADAS À BIOMÉDICA	ENU	887	4	01/01/2012
ESTÁGIO-DOCÊNCIA	ENU	876	2	01/01/2012
ASPECTOS ECONÔMICOS DO USO DA ENERGIA	ENU	854	4	01/01/2012
INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR	ENU	840	4	01/01/2012
TÓPICOS ESPECIAIS EM ENGENHARIA NUCLEAR	ENU	868	2	01/01/2012

APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES À ENGENHARIA E CIÊNCIAS DA TERRA	ENU	858	4	01/01/2012
RADIOPROTEÇÃO	ENU	827	4	01/01/2012
SEGURANÇA DE INSTALAÇÕES NUCLEARES	ENU	845	4	01/01/2012
TRATAMENTO DE DADOS E TEORIA DA SIMILARIDADE	ENU	847	4	01/01/2012
DINÂMICA E CONTROLE DE CENTRAIS NUCLEARES	ENU	871	4	01/01/2012
USOS FINAIS DA ENERGIA	ENU	848	4	01/01/2012
MÉTODOS MATEMÁTICOS APLICADOS À ENGENHARIA NUCLEAR	ENU	863	4	01/01/2012
FÍSICA DE REATORES I	ENU	825	4	01/01/2012
TÓPICOS ESPECIAIS EM APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES	ENU	866	1	01/01/2012
ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS DO USO DA ENERGIA	ENU	855	4	01/01/2012
ANÁLISE EXERGÉTICA DE PROCESSOS	ENU	857	4	01/01/2012
APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES À MEDICINA E RADIOECOLOGIA	ENU	859	4	01/01/2012
CONCEITOS EM IMAGENS MÉDICAS	ENU	860	4	01/01/2012
METODOLOGIA E MODELOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	ENU	861	4	01/01/2012
MÉTODOS DE ANÁLISE	ENU	862	4	01/01/2012
TERMOIDRÁULICA DE REATORES NUCLEARES	ENU	865	4	01/01/2012
PROCESSOS E SISTEMAS DE CONVERSÃO DE ENERGIA	ENU	864	4	01/01/2012

TÉCNICAS DE COMPUTAÇÃO APLICADAS À ENERGIA NUCLEAR	ENU	874	4	01/01/2012
ACELERADORES DE PARTÍCULAS NUCLEARES APLICADOS À BIOMÉDICA	ENU	856	4	01/01/2012
ENGENHARIA NUCLEAR	ENU	872	4	01/01/2012
INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA	ENU	877	4	01/01/2012
FÍSICA DE REATORES AVANÇADOS	ENU	879	4	01/01/2012
PROJETO DE SISTEMAS NUCLEARES	ENU	878	4	01/01/2012

Áreas de atuação profissional

- **Universidades e órgãos públicos**, como os institutos ligados à **Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)**;
- **Fábricas da Indústrias Nucleares do Brasil (INB)**;
- **Eletrobrás Eletronuclear**; na **NUCLEP** ou nas **usinas nucleares de Angra dos Reis**.
- **Empresas estrangeiras: Tecnatom, Westinghouse, Rosatom e a Areva**, atualmente presentes no Brasil.
- **A Amazul (Amazônia Azul Tecnologias de Defesa)**: empresa pública criada em 2013 para desenvolver tecnologia para o Programa Nuclear Brasileiro e para o setor nuclear da Marinha (submarino nuclear, RMP).
- **O governo tem, ainda, a intenção de criar a Agência Nacional de Segurança Nuclear**.
- **Hospitais e empresas associadas à imagem, radiodiagnóstico, radioterapia: VARIAN, ELEKTA**
- **Atuação nas áreas de física de reatores, engenharia de reatores, análise de segurança e física nuclear aplicada**. A Região Sudeste concentra o maior número de oportunidades.

***POR UMA UNIVERSIDADE AUTÔNOMA, PÚBLICA,
GRÁTUITA E DE QUALIDADE***

www.nuclear.ufmg.br

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

BLOCO 4 – 2º ANDAR

claubia@nuclear.ufmg.br

poscctn@nuclear.ufmg.br

secnucl@nuclear.ufmg.br

OBRIGADA!