

Radón. Situación y Posible Estrategia Nacional en Bolivia

Marcelo Ramírez Ávila

Instituto de Investigaciones Físicas
UMSA

Universidad Mayor
de San Andrés

Sociedad Boliviana
de Física

CURSO INTERNACIONAL

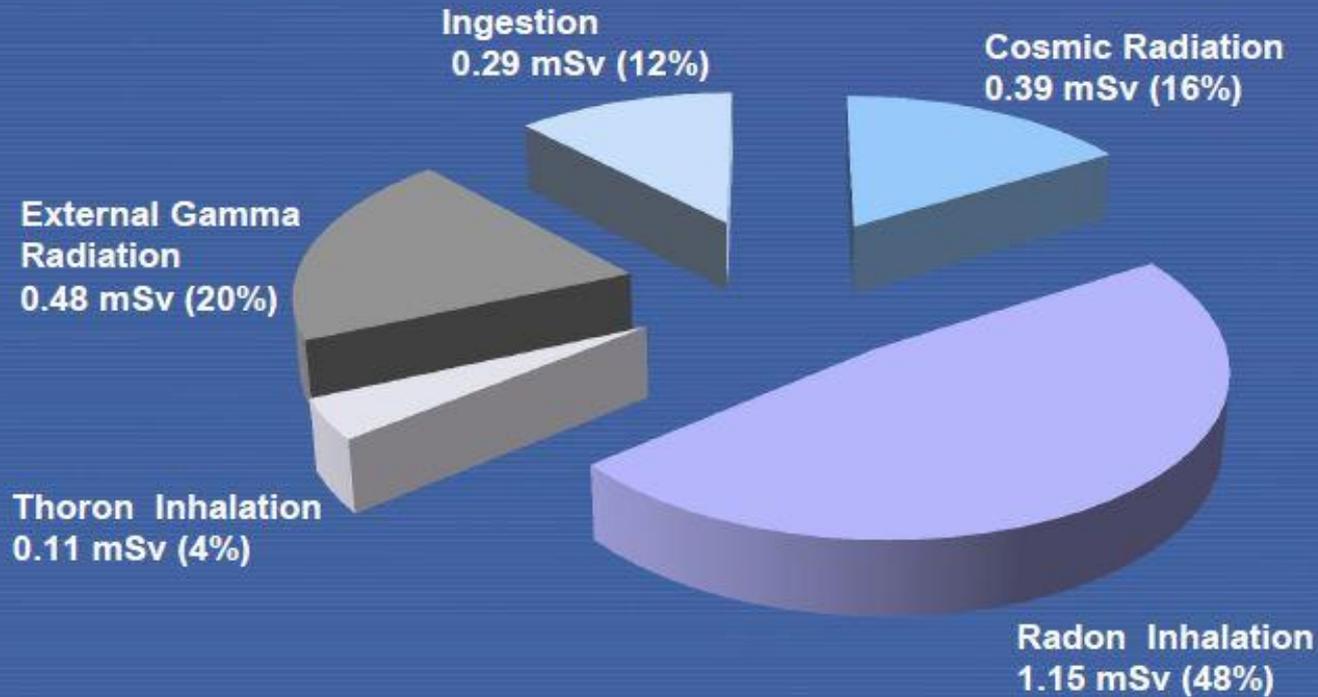
APLICACIONES DE LA RADIACION

19, 20 Y 21 SEPTIEMBRE 2016

Contenido

- El radón y su importancia en protección radiológica.
- ¿Proyecto de monitoreo de radón en Bolivia?
- Física Nuclear en Bolivia.

Introducción



Source	Annual average	Typical range
Cosmic radiation	0.39	0.3–1
External terrestrial	0.48	0.3–1
Ingestion	0.29	0.2–1
Inhalation (radon)	1.26	0.2–10
Total natural	2.4	1–13

El radón

Tabla periódica de los elementos

The periodic table shows elements grouped by color-coded blocks:

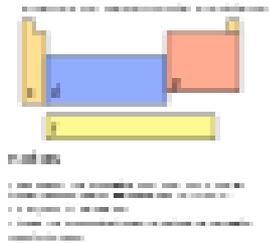
- Metals alcalinos:** Group 1 (orange)
- Alcalinotérreos:** Group 2 (light orange)
- Metales de transición:** Groups 3-10 (yellow)
- Metales pesados:** Groups 11-12 (light green)
- Metaloideos:** Groups 13-16 (green)
- No metales:** Groups 17-18 (purple)
- Halógenos:** Group 17 (pink)
- Gases nobles:** Group 18 (light blue)
- Elementos desconocidos:** Groups 113-118 (grey)

Callout for Iron (Fe):

- Nombre químico: Hierro
- Abreviatura: Fe
- Número atómico: 26
- Configuración electrónica: $[Ar] 3d^6 4s^2$
- Grupo: 8
- Período: 4
- Clasificación: Metal de transición

Element Radon (Rn):

- Nombre químico: Radón
- Abreviatura: Rn
- Número atómico: 86
- Configuración electrónica: $[Xe] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^6$
- Grupo: 18
- Período: 6
- Clasificación: Gas noble



La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

Propiedades del radón

- Gas noble radiactivo natural.
- Emanada de suelos, rocas y materiales de construcción, concentrándose en espacios cerrados.
- Inodoro, incoloro, insípido.
- Inerte (escasa reactividad).
- No reacciona con los tejidos.
- Radiotoxicidad despreciable.

Series radiactivas que originan radón

- U-238---...---Ra-226---Rn-222--- (radón)
- U-235---...---Ra-223---Rn-219--- (actinón)
- Th-232---...---Ra-224---Rn-220--- (torón)

Períodos de semidesintegración

- $T_{1/2}(\text{radón})=3.8$ días.
- $T_{1/2}(\text{actinón})=3.9$ s.
- $T_{1/2}(\text{torón})=55$ s.

$$\frac{U - 235}{U - 238} = 7.2 \times 10^{-3}$$

Productos de decaimiento del radón y sus características



3.8 d

3.05 min

26.8 min

Ra A

Ra B



19.7 min

164 μ s

21 a

Ra C

Ra C'

Ra D

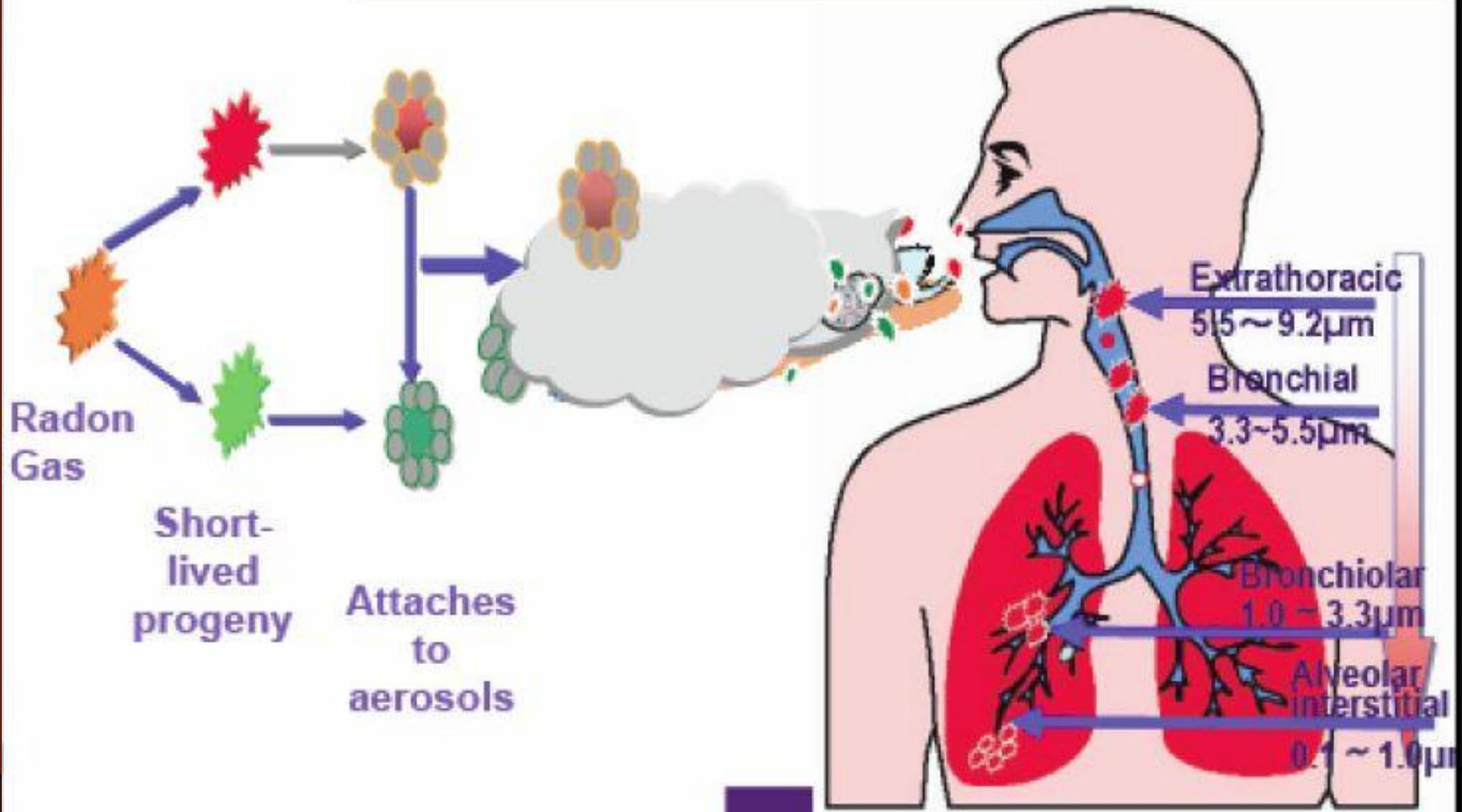
Hijas del radón → aerosoles radiactivos

Progenie del radón

- **No es gaseosa.**
- **Forman aerosoles radiactivos:** se unen a partículas ultrafinas y partículas de polvo presentes en el aire.
- El Rn y ambos Po son emisores α ; los emisores β (Pb-214 y Bi-214) terminan decayendo en Po-214 hasta Pb-210
- **Se inhalan y depositan en el epitelio bronquial.** Es la responsable de la dosis en el tejido bronquial → **cáncer de pulmón**

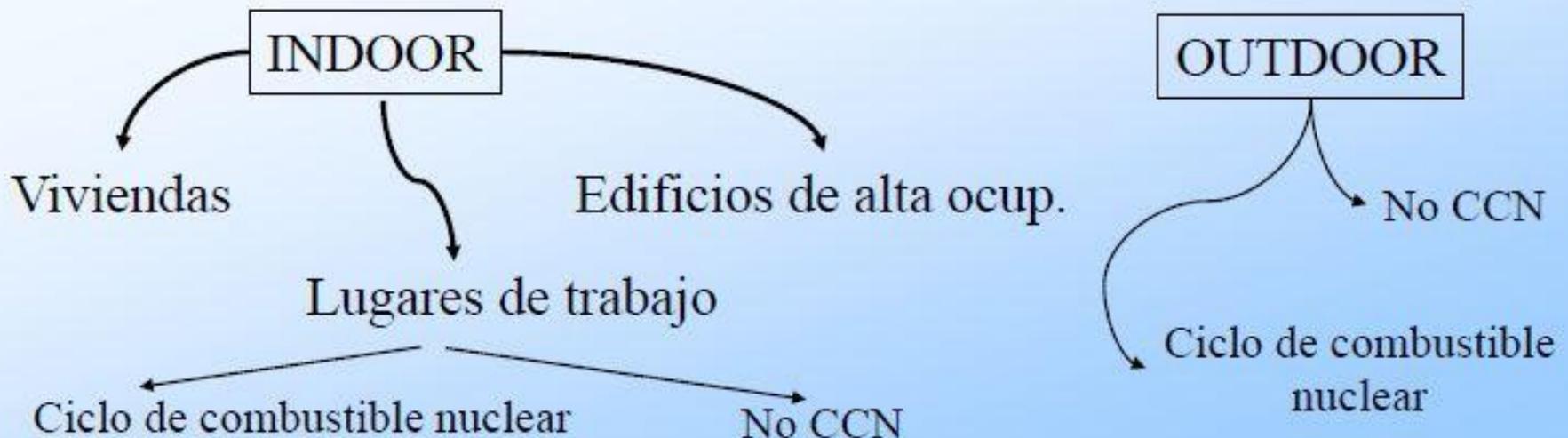
Riesgos de la inhalación del radón

Radon Inhalation Hazard

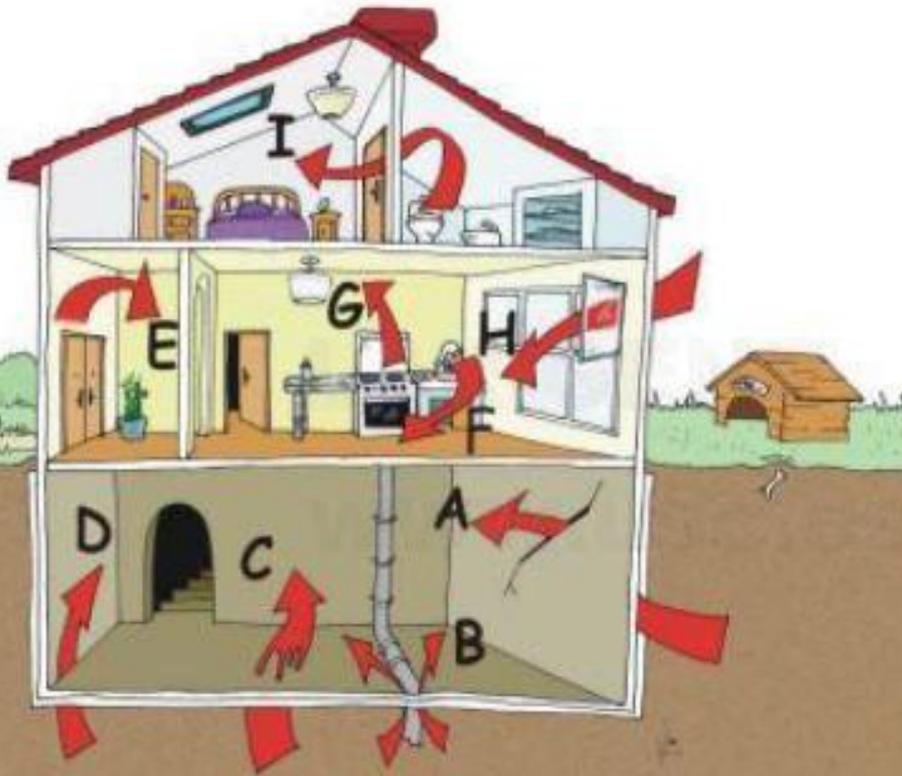


Exposición al gas radón: escenarios

- Ambientes cerrados = menor ventilación = mayor concentración de Rn.
- Geología del lugar favorable a la acumulación de minerales de U = mayor cantidad de Ra-226 = mayor concentración de Rn-222 y progenie.



Vías de entrada del radón en una vivienda



A: Grietas en paredes y muros bajo el nivel del suelo.

B: Espacios alrededor de canalizaciones.

C: Fisuras en la placa. Porosidad de los materiales.

D: Juntas de construcción.

E: Materiales de construcción.

F: Agua corriente.

G: Gas.

H: Aportaciones del exterior.

I: Desagües.

Comportamiento del radón

- Es transportado por difusión.
- Depende de la porosidad del suelo.
- Permeabilidad, humedad, geología del suelo.
- Por convección, presencia de fallas y fracturas.
- Se diluye en aire (viento y temperatura).
- [Rn] al aire libre es baja y variable.
- Se concentra en espacios cerrados.
- Diferencias de temperatura dentro y afuera producen diferencias de presión.
- Grado de ventilación, tamaño del lugar.

¿La mejor casa?



Concentración de la progenie del gas radón: working level (WL)

- WL: unidad de concentración de energía alfa potencial en aire.
- 1 WL es cualquier combinación de la progenie de período corto del Rn que resulte en la emisión de 1.3×10^5 MeV de energía alfa potencial por litro de aire.

$$1 \text{ WL} = 3700 \text{ Bq/m}^3$$

(de progenie)

Exposición a la progenie del Rn: working level month (WLM)

- **1 WLM**: exposición resultante de inhalar en un ambiente con 1 WL en aire, durante un mes de trabajo (170 horas).

$$\text{WLM} = \text{WL} \times \frac{\text{horas de exposición}}{170}$$

- Para el cálculo de dosis (ICRP-65)

1 WLM = 5.06 mSv/a (trabajadores)

1 WLM = 3.88 mSv/a (público)

Factor de equilibrio (F)

- La concentración de Rn-222 y la de su progenie se relacionan a través del factor de equilibrio (F).
- Cociente entre la concentración equivalente en equilibrio (EEC) de Rn-222 con sus descendientes (C_e) y la concentración de gas (C):

$$F = \frac{C_e}{C}$$

- $F = 0.4$ (en ambientes cerrados).
- Es pertinente medir F .

Cuantificación del riesgo de Rn

- Tradicionalmente por datos epidemiológicos en mineros de uranio.
- Riesgo relativo por unidad de exposición (factor nominal de detrimento)

$(2.83 \times 10^{-4}/\text{WLM})$

- Factor dosimétrico derivado de convención de conversión de dosis.
- Comparación riesgo mineros con riesgo de irradiación externa: mSv/WLM:
 - 5 mSv/WLM (trabajadores).
 - 4 mSv/WLM (público).

Cuantificación del riesgo de Rn

Población expuesta	Riesgo cáncer pulmón (/WLM)	Detrimento total	Factor dosimétrico (mSv/WLM)
Público	2,8 E-4 (ICRP 1993)	7,3 E-2 (ICRP 1991)	4
	5,0 E-4 (propuesto)	5,7 E-2 (ICRP 2007)	9
Trabajadores	2,8 E-4 (ICRP 1993)	5,6 E-2 (ICRP 1991)	5
	5,0 E-4 (propuesto)	4,2 E-2 (ICRP 2007)	12

Adaptado Dose conversion factors for radon, Marsh et al
Health Physics Society 2010

Situación del radón

- A partir del cambio en el factor nominal de detrimento de $2.8 \times 10^{-4}/\text{WLM}$ a $5 \times 10^{-4}/\text{WLM}$.
- Resultado: dosis efectiva por unidad de exposición se duplicará.
- Revisión de los niveles referenciales basado en 10 mSv/a.
- Radón en viviendas: $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$.
- Radón en lugares de trabajo (situaciones existentes, radón incidental): $1000 \text{ Bq}/\text{m}^3$.

Protección radiológica

ICRP 103/GSR Part 3

Para exposición ocupacional en **situaciones de exposición planificada**, límite dosis efectiva: **20 mSv por año**, promediada en períodos definidos de 5 años (100 mSv en 5 años), sin exceder 50 mSv en cualquier año.

RS-G 1.6 (Occupational Radiation Protection in the Mining and Processing of Raw Materials)

Progenie de radon: **20 mSv/a** corresponde a $14 \text{ mJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$
4 WLM. (FD: 5 mSv por WLM).

En realidad los 20 mSv/a como producto de todas las fuentes de radiación

Protección radiológica

ICRP 103: Tipos de situaciones de exposición (radon)

- **Planificadas:** las medidas de protección y seguridad pueden realizarse antes de que comience la actividad, de forma que las exposiciones asociadas y su ocurrencia pueden controlarse “a priori”. Introducción deliberada de una fuente por sus props. radiactivas.

Límites y restricciones de dosis. Ej: Ciclo de combustible nuclear

- **Existentes:** es una situación de exposición que ya existe cuando una decisión en la necesidad de control debe ser tomada. (Radon en viviendas o lugares de trabajo no CCN)

Niveles de referencia (10 mSv/a)+ optimización

Problema típico

Calcular la dosis efectiva que recibe un trabajador que desarrolla sus tareas en un puesto de una fábrica de elementos combustibles, si está expuesto a una concentración promedio anual de gas radón de 3000 Bq/m^3 . Para realizar el cálculo tenga en cuenta que el trabajador permanece en ese puesto de trabajo 30 horas por semana, y que trabaja 50 semanas en el año. Considere que el factor de equilibrio entre el gas radón y su progenie es de 0,4; y que el factor dosimétrico es 5 mSv/a por WLM. (ICRP 65 para trabajadores)

Datos:

$C_{Rn} = 3000 \text{ Bq/m}^3$ - $F = 0,4$ - $t = 30 \text{ hs/sem} - 50 \text{ sem/año}$

$F_D = 5 \text{ mSv/a}$ por WLM.

$$F = \frac{C_{\text{progenie}}}{C_{Rn}}$$

Entonces:

$$C_{\text{progenie}} = C_{Rn} * F$$

$$C_{\text{progenie}} = 3000 \text{ Bq/m}^3 * 0,4 = 1200 \text{ Bq/m}^3$$

Por otro lado:

$$1 \text{ WL} = 3700 \text{ Bq/m}^3$$

Por lo tanto:

$$C_{\text{progenie}} = 0.32 \text{ WL}$$

Cálculo de la exposición al gas radón

$$E \text{ (WLM)} = \frac{C_{\text{progenie}}(\text{WL}) * t(\text{h})}{170 \text{ h/m}}$$

Recordemos,

$$t = 30 \text{ h/sem} * 50 \text{ sem/a} = 1500 \text{ h/a}$$

Entonces,

$$E = 2,82 \text{ WLM}$$

Cálculo de la dosis efectiva

$$D \text{ (mSv/a)} = E \text{ (WLM)} * F_D \text{ (mSv/a / WLM)}$$

Entonces,

$$D = 14,1 \text{ mSv/a}$$

Preguntas a partir del valor de dosis efectiva estimada

- ¿Es necesario tomar alguna medida adicional de protección radiológica a fin de optimizar la exposición a gas radón?
- ¿Considera que es una situación planificada o existente de exposición?

¿Cómo se modifica la situación planteada si $F = 0,6$?

$$C_{\text{progenie}} = 3000 \text{ Bq/m}^3 * 0,6 = 1800 \text{ Bq/m}^3$$

$$C_{\text{progenie}} = 0.49 \text{ WL}$$

$$E \text{ (WLM)} = \frac{C_{\text{progenie}}(\text{WL}) * t(\text{h})}{170 \text{ h/m}}$$

Recordemos,

$$t = 30 \text{ h/sem} * 50 \text{ sem/a} = 1500 \text{ h/a}$$

Entonces,

$$E = 4,3 \text{ WLM}$$

Cálculo de la dosis efectiva

$$D \text{ (mSv/a)} = E \text{ (WLM)} * F_D \text{ (mSv/a / WLM)}$$

Entonces,

$$\mathbf{D = 21,5 \text{ mSv/a}}$$

¿Qué hacemos?

Radón y tabaquismo

- En muchos países, el radón es la segunda causa más importante (después del tabaquismo) en la inducción de cáncer de pulmón.
- El Rn tiene mayor probabilidad de inducir cáncer en personas fumadoras o que lo fueron en el pasado.
- En muchos países, el Rn es la causa primaria de cáncer de pulmón entre personas que nunca han fumado.

(fuente: OMS)



Detección de radón

Gas Radón

Métodos Pasivos
No requieren suministro de energía
Métodos integradores
Se analizan después de la exposición.

Electrets

Trazas nucleares

Carbón activado

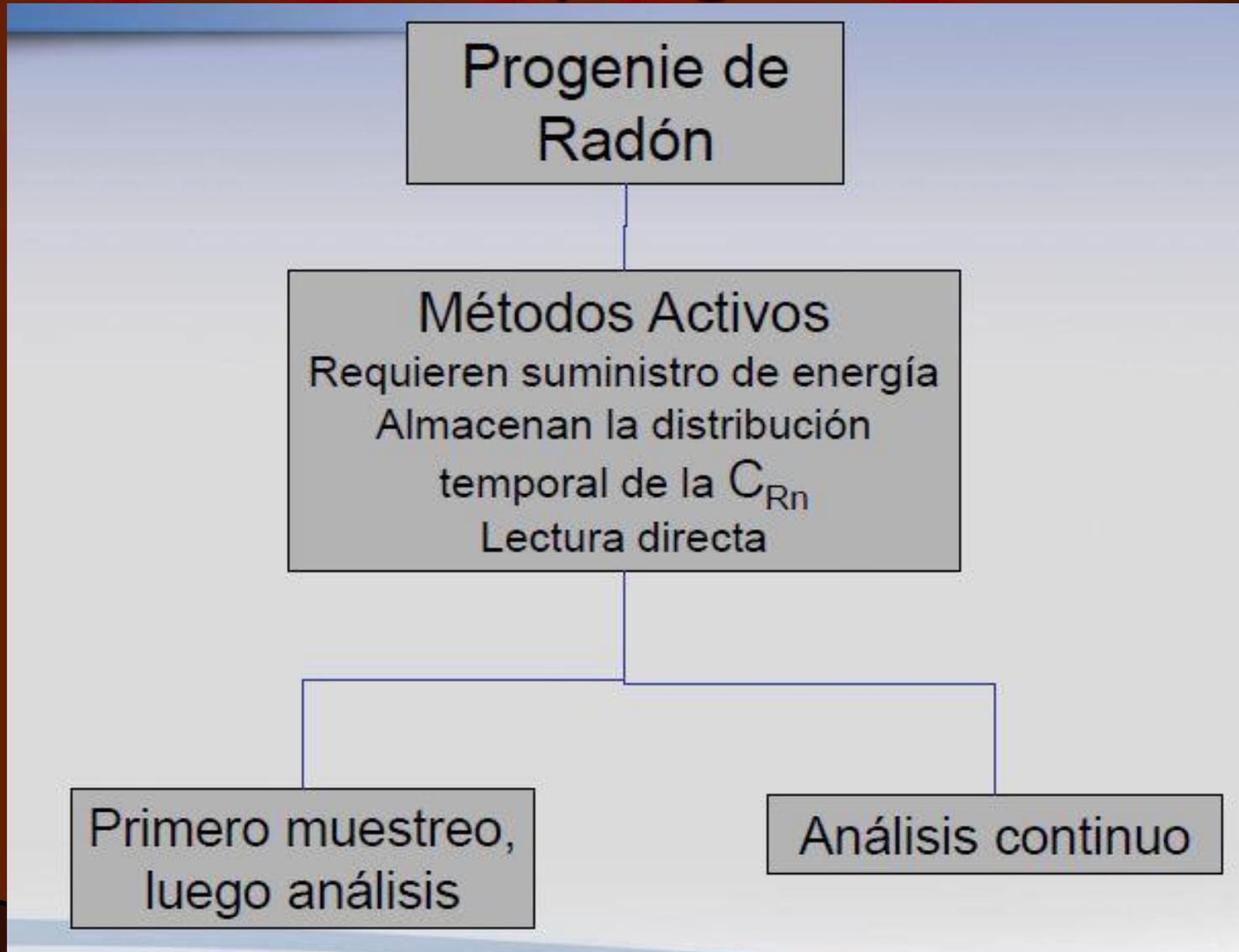
Métodos Activos
Requieren suministro de energía
Almacenan la distribución temporal de la C_{Rn}
Lectura directa

Detector semiconductor

Cámara de centelleo (LUCAS)

Cámara de ionización

Detección de progenie de radón



Detección de radón y su progenie

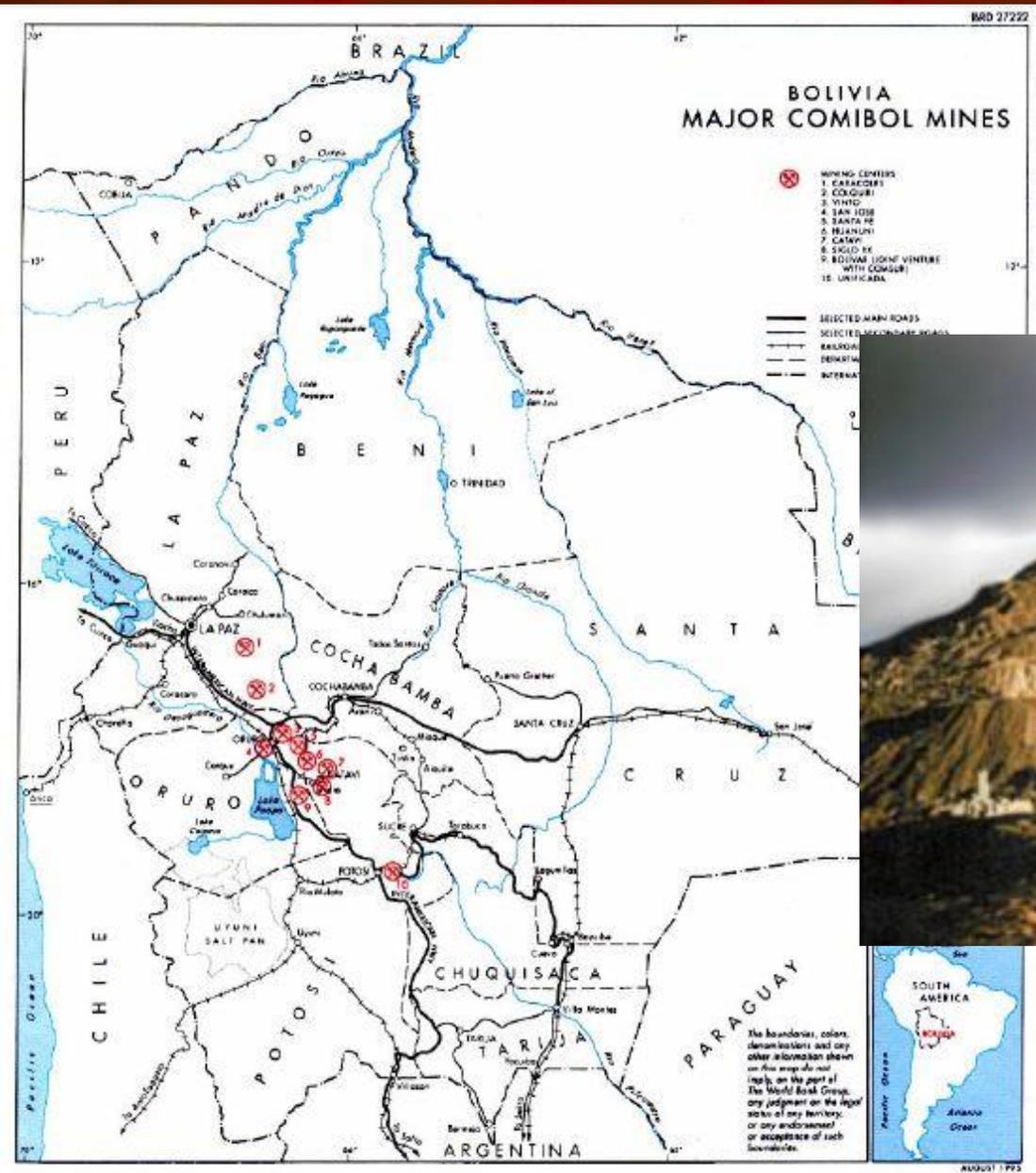
Detectores de radón – Características.

Método de medición	Pasivo/Activo	Incerteza (%)	Período de muestreo	Costo
Trazas nucleares	Pasivo	10 - 25	1 – 12 meses	Bajo
Carbón activado	Pasivo	10 - 30	2 a 7 días	Bajo
Electrets	Pasivo	8 - 15	5 días – 1 a	Medio
Electrónicos	Activo	~ 25	2 d - años	Medio
Monitor continuo	Activo	~ 10	1 h - años	Alto

Mediciones de radón

- COMIBOL y Swiss Contact. Mediciones en minas. Altas concentraciones (~ 1997).
- Banco Mundial. Publicación en tres minas. Recomendaciones de ventilación (1998).
- Mediciones de radiactividad ambiental (Viacha, Chacaltaya). Espectrometría γ . radionúclidos naturales y Bi-214(609 keV). $C_A \approx 16.494$ Bq/l (2002).
- Medición en domicilios de Potosí (2005).
- Medición en 7 minas utilizando un equipo portátil Alpha Zahler-2.

Mediciones en minas



Alta exposición a radón

- Altitudes (3600-5300) m.s.n.m.



MONITOREO DE RADÓN Y SU PROGENIE EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

IBTEN – UMSA - COMIBOL

Objetivos

- Estudio preliminar de los niveles de exposición al radón y su progenie en la población del altiplano boliviano.
- Verificar si es necesario un monitoreo masivo.
- Correlacionar datos con estudios epidemiológicos de cáncer de pulmón

Plan de trabajo

- Compra y calibración de los equipos a utilizarse y pruebas del software.
- Monitoreo en diferentes puntos de la región altiplánica (viviendas, minas, escuelas, fuentes hídricas, etc.)
- Tratamiento de los datos obtenidos.
- Informe final bajo formato de publicación.

Resultados esperados

- Tener los datos necesarios para ver la factibilidad de proyectos a posteriori (monitoreo masivo, medidas preventivas o de acción) o simplemente monitoreo rutinario.
- Conjuntamente con organizaciones de salud, concientizar a la población sobre hábitos tendientes a disminuir la exposición al radón y su progenie.
- Establecer relaciones de colaboración e intercambio de información con otros grupos trabajando en el mismo tema.

Prácticas mineras

MEDIDO (MINA)	DOSIS EFECTIVA DE RESPIRACION EN (mSv/a) PARA CAUDALES DE:		
	1,2 m ³ /h	1,5 m ³ /h	2,1 m ³ /h
“25 de Mayo”	1,73	2,16	3,00
“Milagros”	9,91	12,39	17,34
“Lourdes”	5,80	7,25	10,15
“San Salvador”	1,34	1,68	2,35
“San Fernández”	4,77	5,96	8,35
“San Lorenzo”	5,87	7,34	10,27
“Huanuni”	44,91	56,14	78,59

¿Cómo pueden ayudar el OIEA y la Organización Mundial de la Salud?

Coadyuvando a las actividades del proyecto “Monitoreo de radón y su progenie en el altiplano boliviano”. Entre otras cosas:

- Facilitando la formación de recursos humanos mediante un entrenamiento en algún laboratorio con experiencia en el tema. Por ejemplo en el laboratorio de la Autoridad Regulatoria Nuclear de la Argentina.
- Mediante la visita de un experto para la supervisión de los primeros trabajos de campo.
- Facilitando la adquisición de equipo y material de laboratorio para este fin.

Observaciones

- Diseño urgente de un monitoreo de radón y su progenie que pueda dar mediciones fiables que hasta ahora no existen puesto que las iniciativas de medición se realizaron de manera casi aislada y donde los protocolos y técnicas utilizadas no están aclaradas. Teniendo resultados confiables, se pueden tomar acciones en caso de tener concentraciones elevadas de radón y su progenie.

Conclusión

- ¿Vale la pena trabajar en la determinación de concentración de radón y su progenie?
- ¿En qué lugares?
- ¿Con qué métodos?

Física Nuclear en Bolivia

- Cuatro Carreras de Física en Bolivia (La Paz, Potosí, Cochabamba y El Alto).
- Instituto de Investigaciones Físicas UMSA.
- Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya.
- Sociedad Boliviana de Física.
- Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN).
- Agencia Boliviana de Energía Nuclear (ABEN).

Tesinas, trabajos de grado, tesis de grado licenciatura y maestría en relación a Física Nuclear (UMSA)

- Una tesina de Técnico Superior.
- Dos trabajos de grado (Licenciatura).
- Nueve tesis de Licenciatura.
- Una tesis de Maestría.

Publicaciones en relación a Física Nuclear (UMSA)

- Una publicación sin referencia.
- Siete contribuciones a la Revista Boliviana de Física.
- Una publicación en Memorias de Conferencia Internacional.
- Dos artículos referados en la Revista Boliviana de Química.
- Un artículo referado en Nuclear Data Sheets.

Ponencias en reuniones científicas

- Once ponencias en las reuniones de la SOBOFI.
- Una ponencia en la Conferencia Internacional Nuclear Data 2013.