CURSO INTERNACIONAL RADÓN 2025

Curso Internacional de Radón:

Investigación y Aplicaciones para Profesionalesdel Ámbito Científico

Universidad Nacional Mayor de SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América

UNSAAC
Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFISA UNMSM

LaRUC
Laboratorio de Radiactividad Ambiental | Universidad de Cantabria

Laboratorio de Radon de Galicia

Florida HEALTH

Curso Internacional de Radón: Investigación y Aplicaciones para Profesionales del Ámbito Científico

Universidad Nacional Mayor de SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América

INFISA UNMSM

LaRUC
Laboratorio de Radiactividad Ambiental | Universidad de Cantabria

Laboratorio de Radon de Galicia

Florida HEALTH

Módulo I. Aspectos básicos de la radiactividad

Tema 1. Naturaleza de la Radiación. Radiactividad y Radioisótopos en la naturaleza

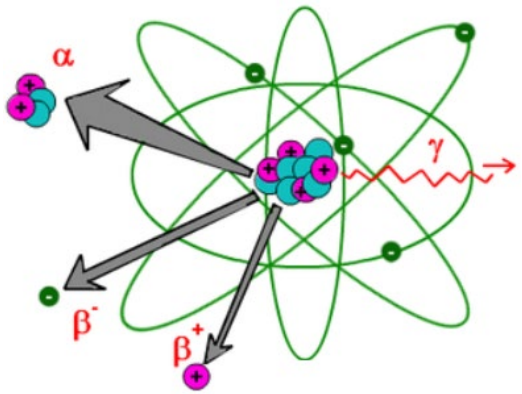
Dr. Daniel Rábago (daniel.rabago@unican.es)

LaRUC Laboratorio de Radiactividad Ambiental | Universidad de Cantabria

UC | Universidad de Cantabria

¿Qué es la Radiactividad?

- **Radiactividad o Desintegración radiactiva:**



Proceso mediante el cual, un núcleo inestable emite partículas y/o energía en forma de radiaciones

Estabilidad energética asociada a las interacciones nucleares (protones - neutrones)

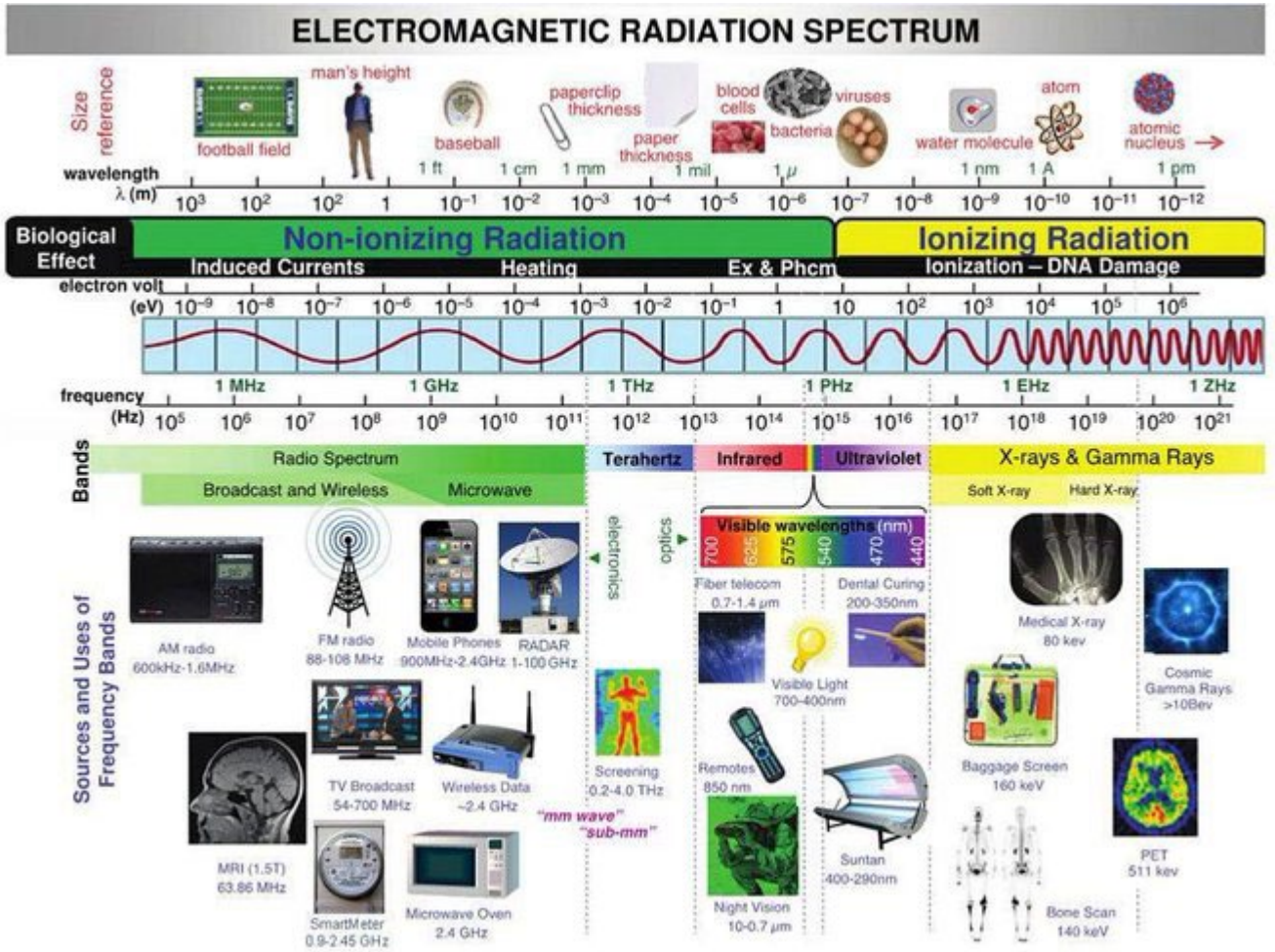
¿Qué es la Radiactividad?

- **Radiación Ionizante:** radiación con energía suficiente para ionizar la materia, extrayendo los electrones de sus estados ligados al átomo.

- Sustancias radiactivas
- Generadores artificiales:

  Generadores de rayos X

  Aceleradores de partículas



¿Qué es la Radiactividad?

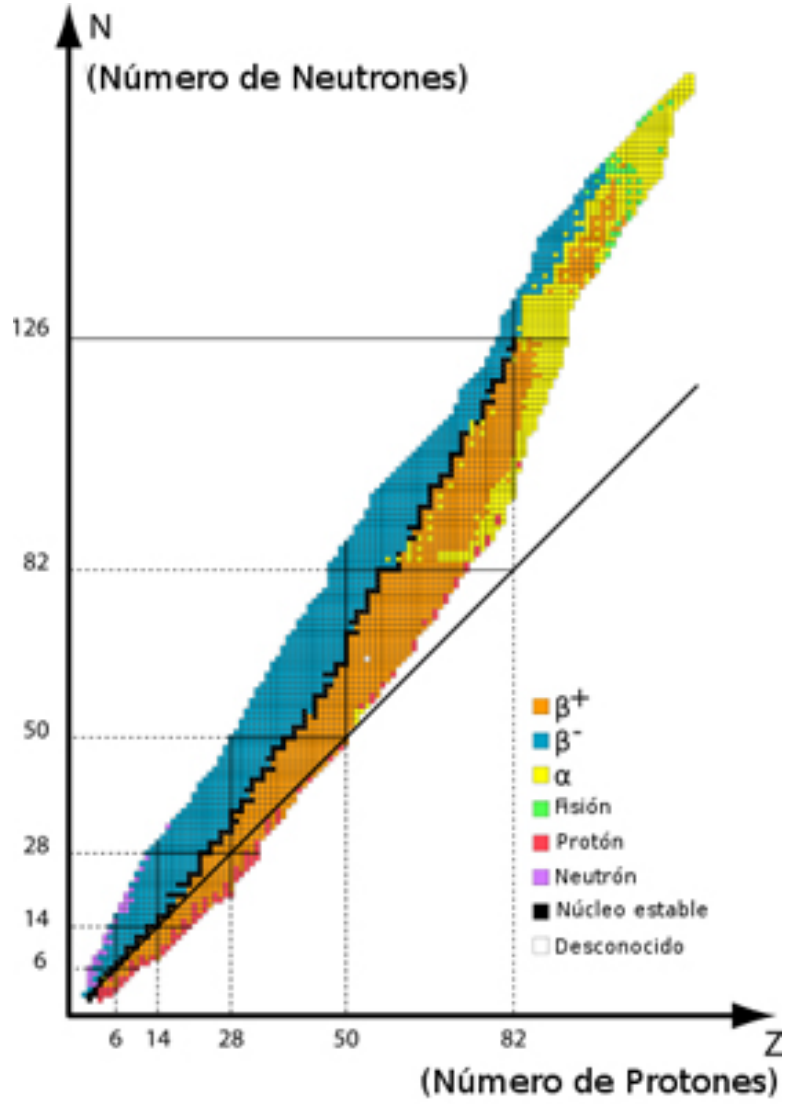
- **Estabilidad Nuclear:**

  - **Interacción Nuclear fuerte: nucleón-nucleón**

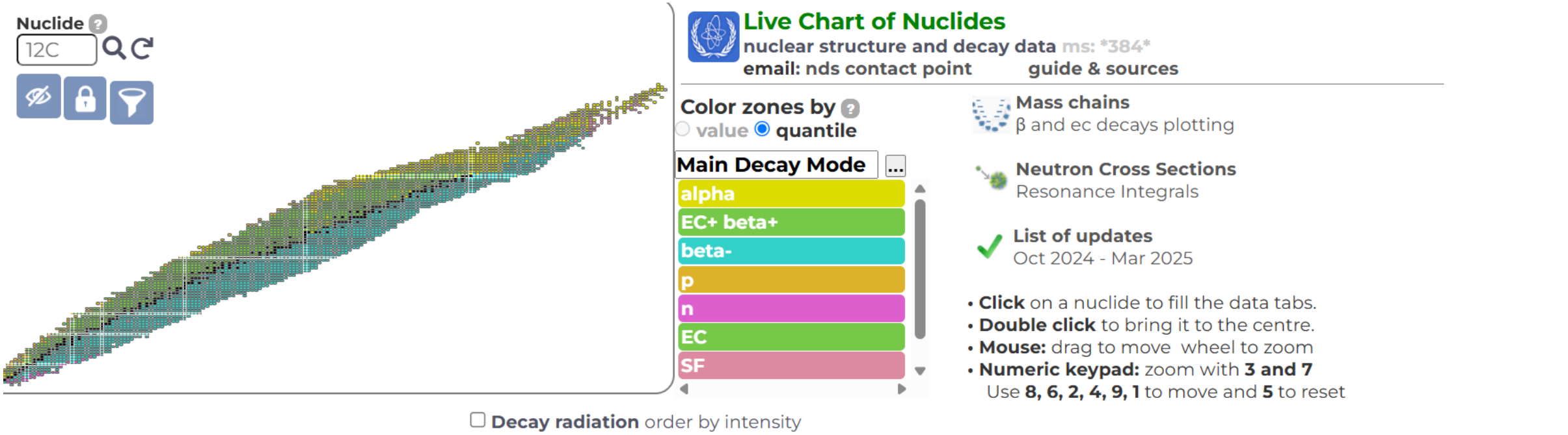
  - A Corto alcance mayor que la repulsión entre protones
  - Distancia orden tamaño atómico: insignificantemente
  - Independiente del tipo de nucleón
  - Incluye un término repulsivo

  - **Interacción Coulombiana: Protones**

  - Siempre repulsiva

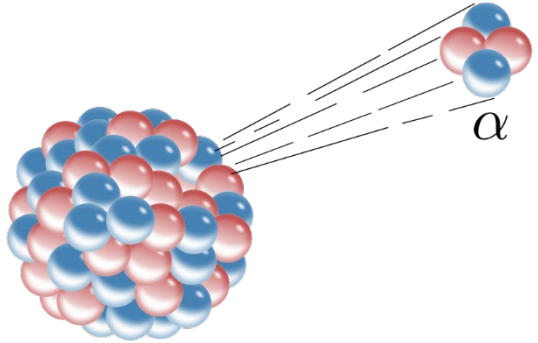


¿Qué es la Radiactividad?



Tipos de Radiación

- **Desintegración Alfa (α):**
  - Emisión de un núcleo de Helio (2p, 2n)
  - Típica de Núcleos pesados (A>140)
  - Trayectoria rectilínea y muy corta (pocos cm en aire)
  - Elevada perdida de energía por unidad de longitud (LET)



$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$$

$$^{226}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} + \alpha$$



RADIO

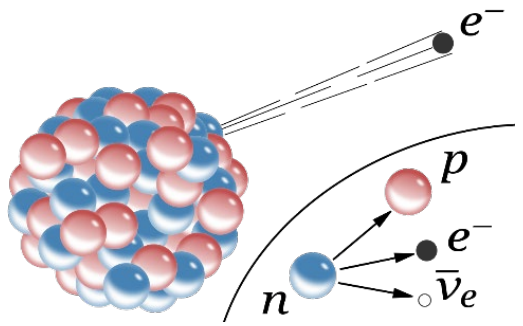
Tipos de Radiación

- **Desintegración Beta (β^-):**
  - Emisión de un electrón
  - Alcance medio: Trayectoria “quebrada” por interacción campos eléctricos y magnéticos
  - Perdida energía gradual, inferior al de las partículas alfa (menos ionizante)

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

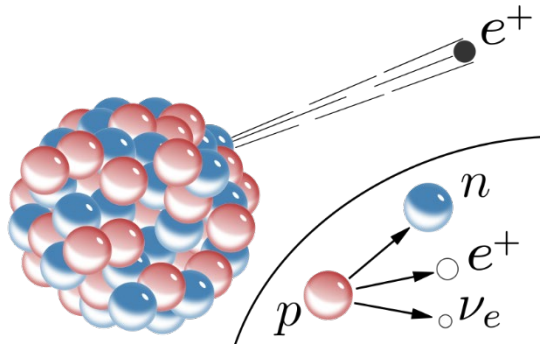
$${}^{A}_{Z}X = {}^{A}_{Z+1}Y + \beta^- + \bar{\nu}_e$$

$${}^{14}_{6}C = {}^{14}_{7}N + \beta^- + \bar{\nu}_e$$



Tipos de Radiación

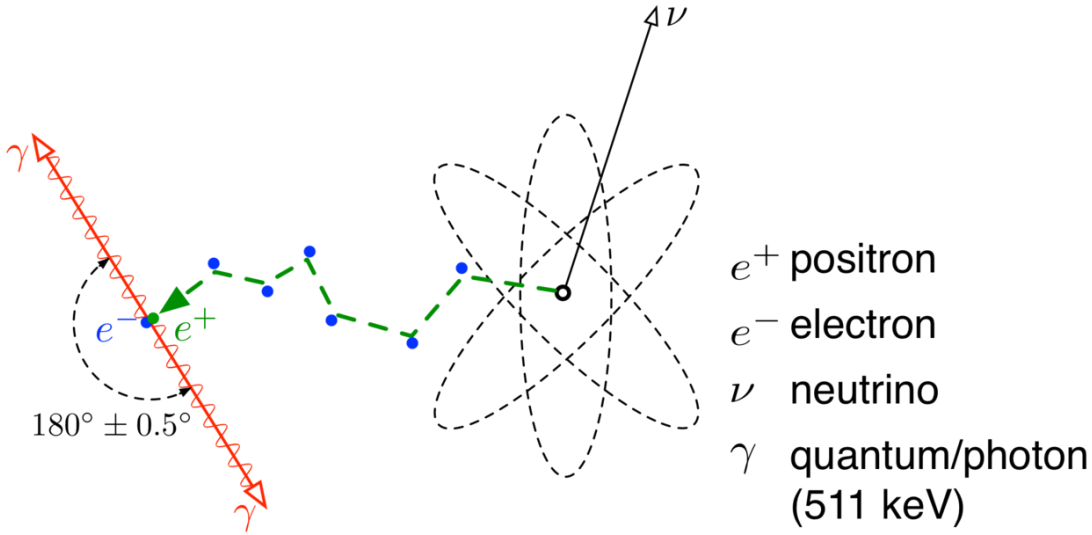
- **Desintegración Beta (β^+):**
  - Emisión de un positrón
  - Alcance medio: Trayectoria “quebrada” por interacción campos eléctricos y magnéticos
  - Perdida energía gradual, inferior al de las partículas alfa (menos ionizante)
  - Al final de su recorrido, aniquilación e+ e- : creación de dos fotones



$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$

$${}^{A}_{Z}X = {}^{A}_{Z-1}Y + \beta^+ + \nu_e$$

$${}^{18}_{9}\mathrm{F} = {}^{18}_{8}\mathrm{O} + \beta^+ + \nu_e$$



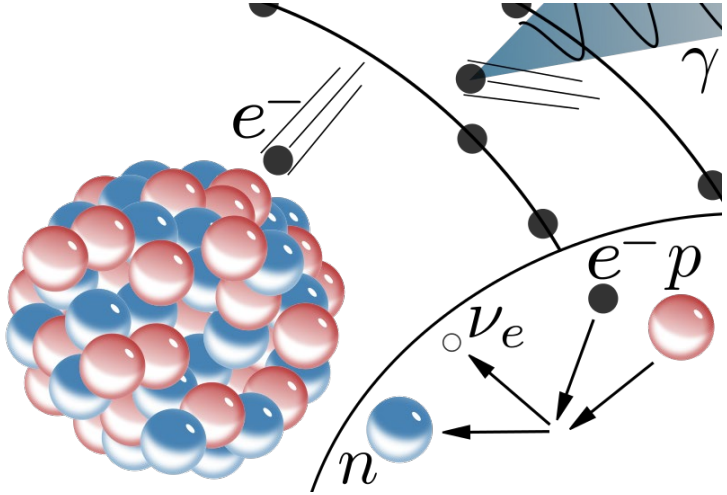
Tipos de Radiación

- **Captura Electrónica CE:**
  - Electrón atómico normalmente de la capa K se combina con un protón del núcleo
  - Emisión de un neutrino de electrón
  - Núcleo resultante normalmente excitado → Emisión gamma posterior

$p + e^- \rightarrow n + \nu_e$

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \nu_e$$

$${}^{7}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow {}^{7}_{3}\mathrm{N} + \nu_e$$

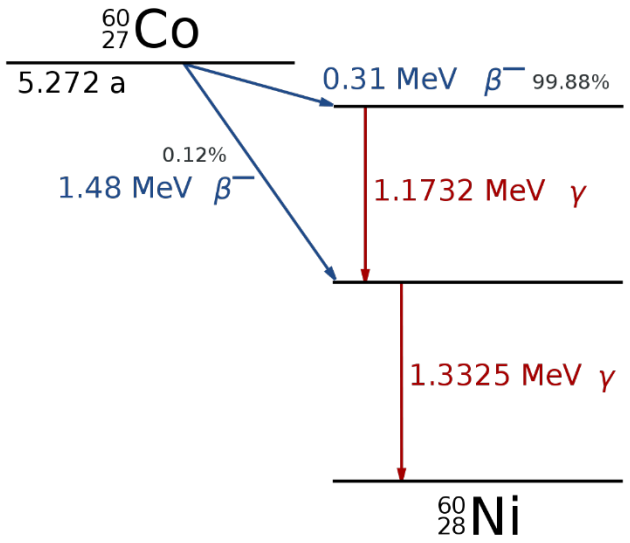


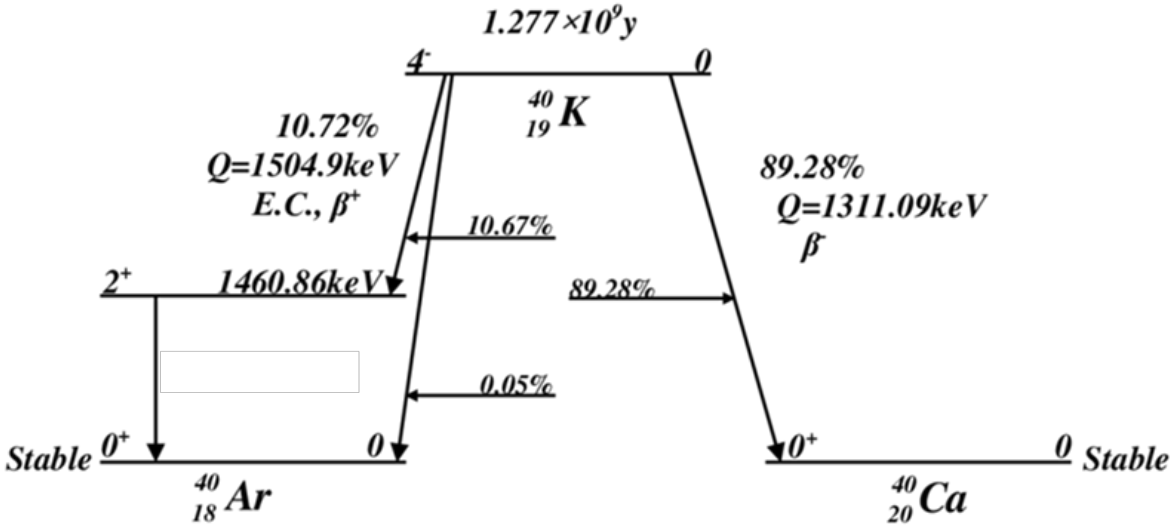
Tipos de Radiación

- **Emisión Gamma (γ):**

[E] = MeV (1 eV = 1.6 · 10^{-19} J)

  - Radiación electromagnética que proviene del núcleo: niveles excitados
  - Normalmente tras decaimiento alfa o beta: núcleo hijo excitado
  - Indirectamente ionizante: Interacciona produciendo partículas cargadas que son las que ionizan el medio

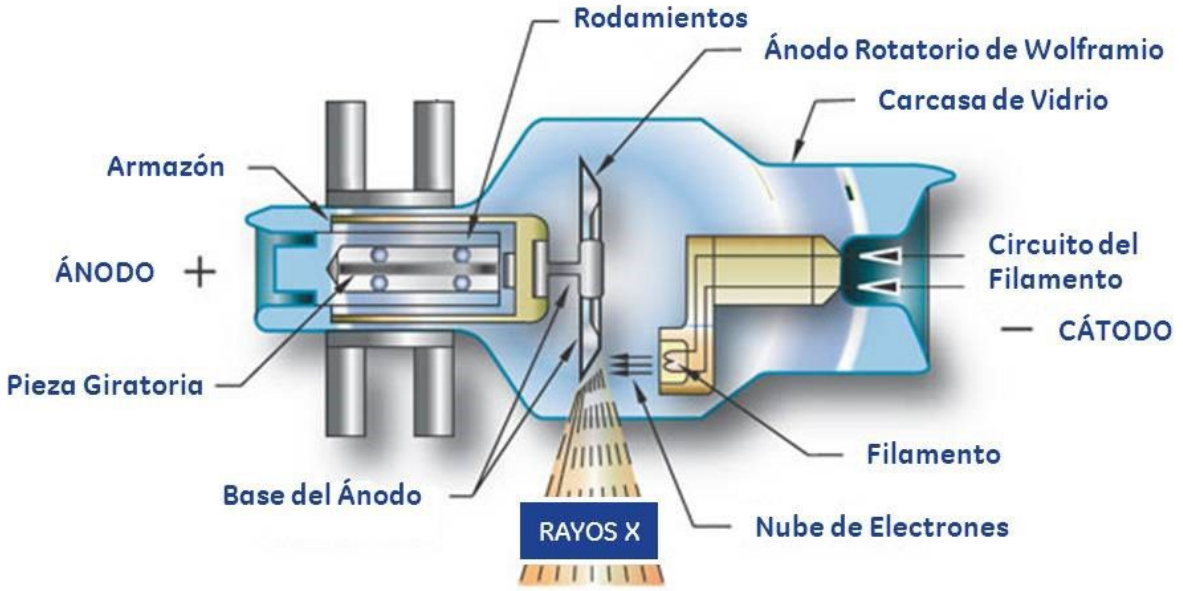




Tipos de Radiación

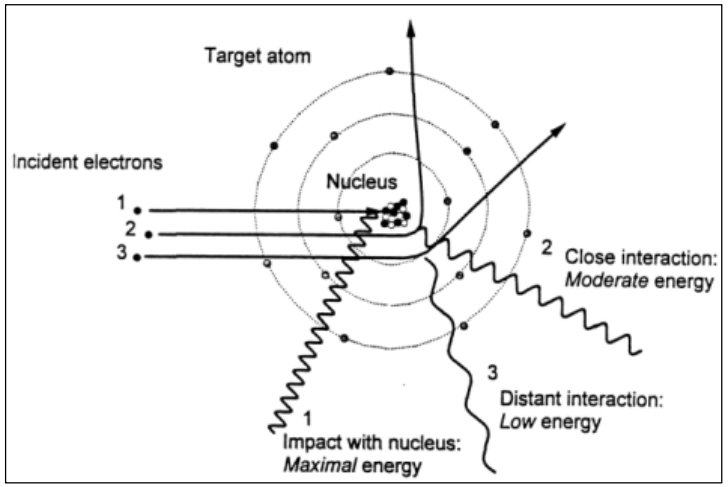
- **Rayos X:**
  - Radiación electromagnética que proviene generada artificialmente
  - Transiciones electrónicas de núcleos pesados
  - Radiación de Frenado o Bremsstrahlung

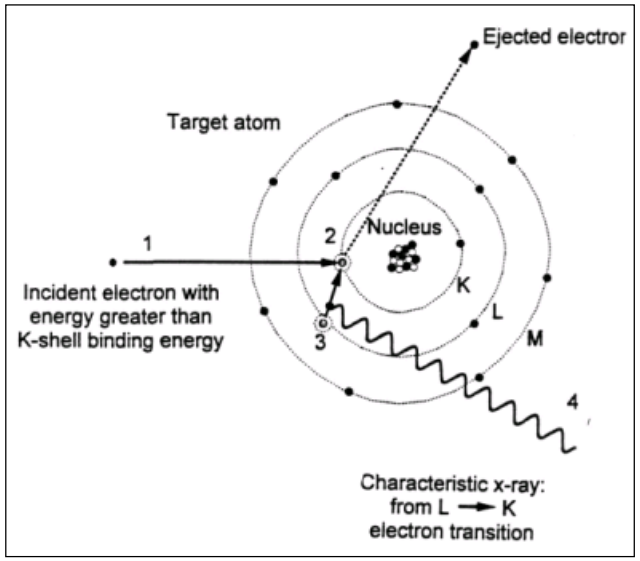
$[E]$ = keV

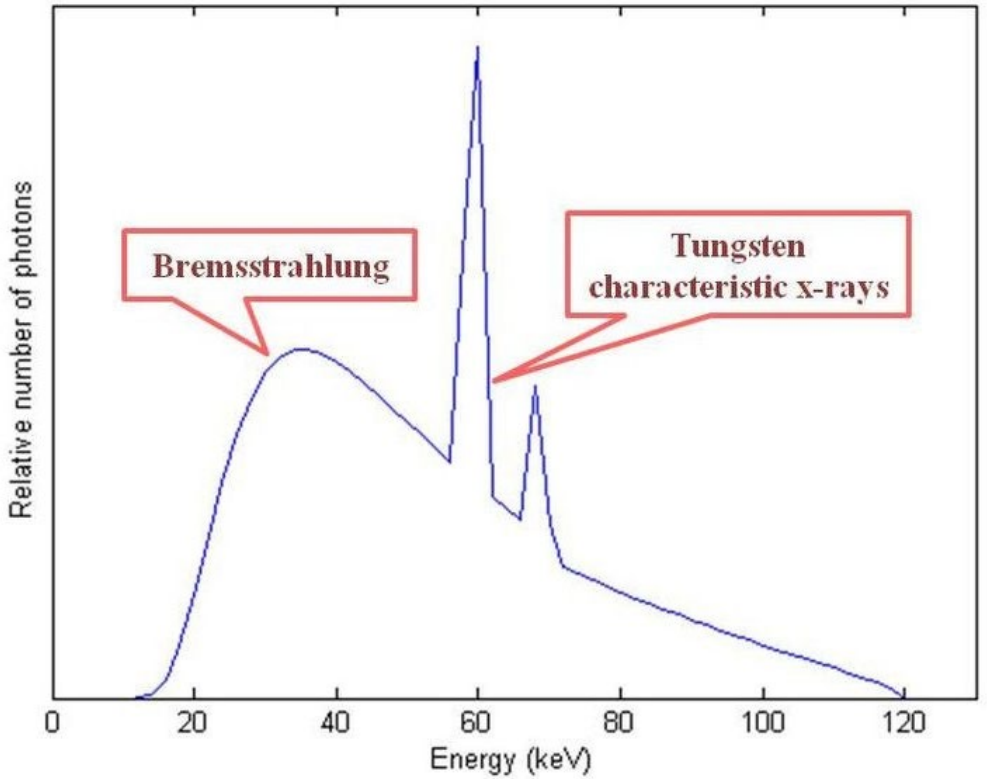


Tipos de Radiación

- **Rayos X:**

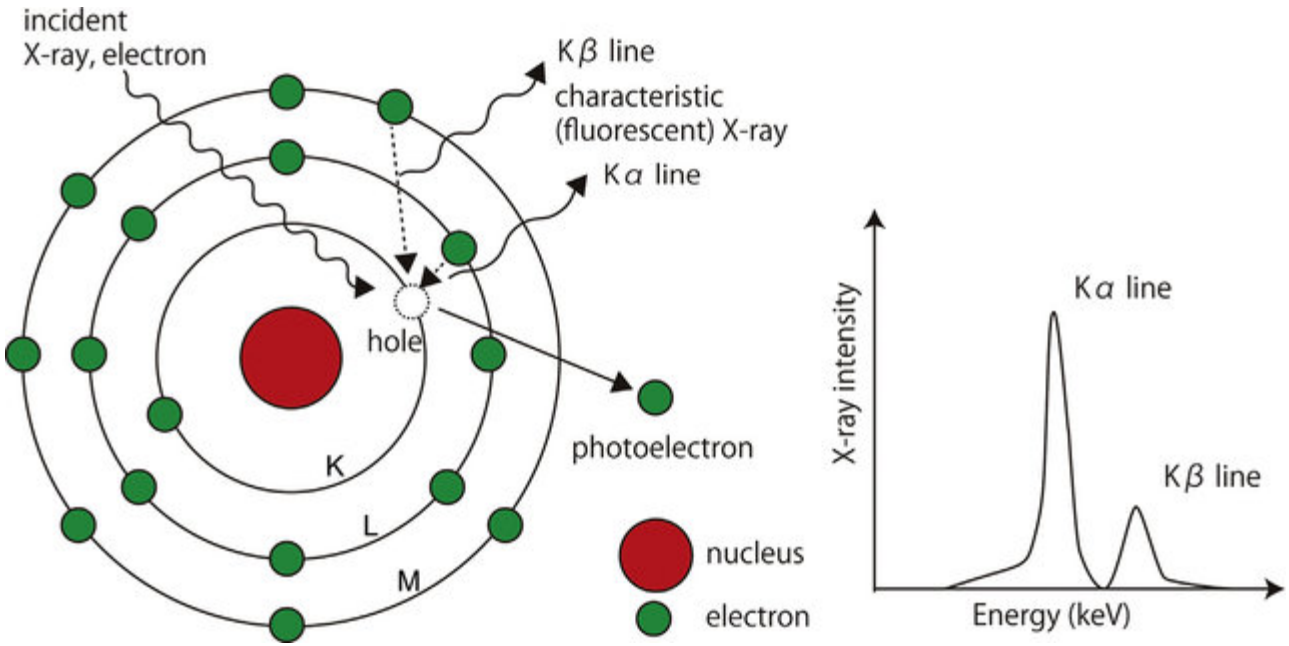






Tipos de Radiación

- **Rayos X:**



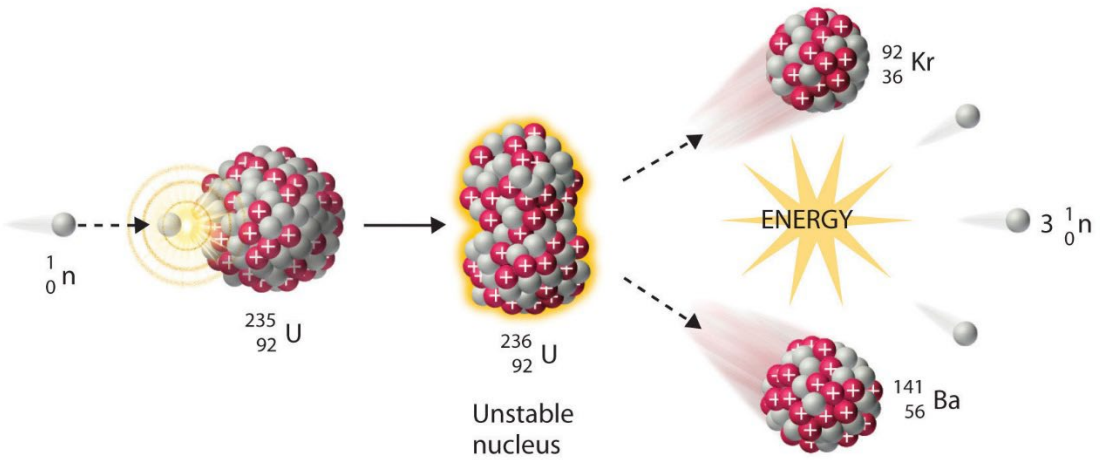
Tipos de Radiación

- **Neutrones:**

  - Partículas sin carga
  - Interacciona con los núcleos (Fuerza nuclear fuerte)
  - NO interacciona con los electrones

  - Difícil de detectar, no ionización primaria

  Producidos en:
  - Fuentes de neutrones
  - Fisión espontánea
  - Reactores nucleares



Tipos de Radiación

- **Neutrones:**

  Producidos en:

  - Fuentes de neutrones
  - Fisión espontánea
  - Reactores nucleares



$T_{1/2}$= 2,64 años

Φ= 4,3·10^9 n/s por Ci (37 GBq)

$$\alpha + Be^9 \rightarrow C^{12} + n$$



$T_{1/2}$= 432 años (^{241}Am)

Φ= 2,2·10^6 n/s por Ci (37 GBq)

Ley de la desintegración radiactiva

- **Ley de la desintegración radiactiva:**

La desintegración radiactiva obedece una ley de decrecimiento exponencial dada por:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$N(t)$: Número de núcleos radiactivos en el tiempo t

N_0: Núcleos radiactivos iniciales (t=0)

λ: Constante de decaimiento radiactivo (característica de cada elemento) $\lambda = \frac{\mathrm{Ln}\ 2}{T_{1/2}}$

$T_{1/2}$: Periodo de semidesintegración ($N = N_0/2$)

Radioisótopos en la Naturaleza

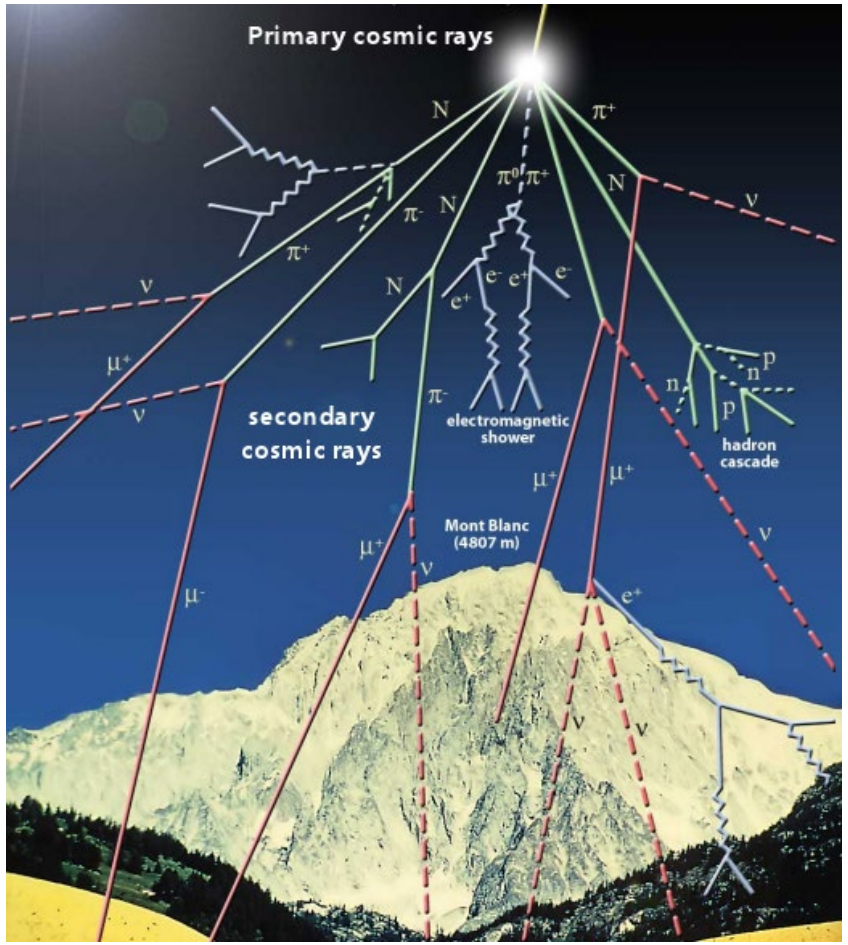
- **Radioisótopos Cosmogénicos:** Formados por la interacción de los Rayos cósmicos con elementos atmosfera y la corteza terrestre.

- **Radioisótopos Primordiales:** Formados en el interior de las estrellas, explosiones de supernovas, etc.

- **Radioisótopos Secundarios:** Descendientes de los primordiales

Radioisótopos en la Naturaleza

- **Radioisótopos Cosmogénicos:**



Identificados unos 22

^{14}C, ^{3}H, ^{22}Na, and ^{7}Be más importantes desde el punto de vida de la dosis a la población

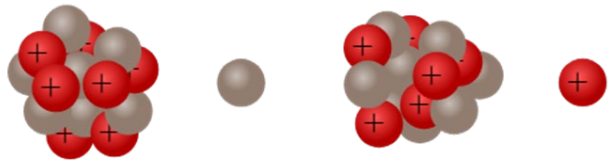
Radioisótopos en la Naturaleza

TABLE 6-1a

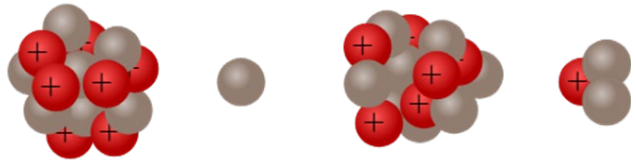
Radionuclides Induced in the Earth's Atmosphere by Cosmic Rays[a]

Radionuclide	Half-life	Major radiations	Target nuclides
^{10}Be	1,600,000 y	β^-	N, O
^{26}Al	720,000 y	β^+	Ar
^{36}Cl	300,000 y	β^-	Ar
^{80}Kr	213,000 y	K X ray	Kr
^{14}C	5730 y	β^-	N, O
^{32}Si	~650 y	β^-	Ar
^{39}Ar	269 y	β^-	Ar
^{3}H	12.33 y	β^-	N, O
^{22}Na	2.60 y	β^+	Ar
^{35}S	87.4 d	β^-	Ar
^{7}Be	53.3 d	γ	N, O
^{37}Ar	35.0 d	K X ray	Ar
^{33}P	25.3 d	β^-	Ar
^{32}P	14.28 d	β^-	Ar
^{38}Mg	21.0 h	β^-	Ar
^{24}Na	15.0 h	β^-	Ar
^{38}S	2.83 h	β^-	Ar
^{31}Si	2.62 h	β^-	Ar
^{18}F	109.8 m	β^+	Ar
^{39}Cl	56.2 m	β^-	Ar
^{38}Cl	37.29 m	β^-	Ar
^{34m}Cl	31.99 m	β^+	Ar

Eisenbud & Gesell (1997)



$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}p$$



$$^{14}N + n \rightarrow {}^{12}C + {}^{3}H$$

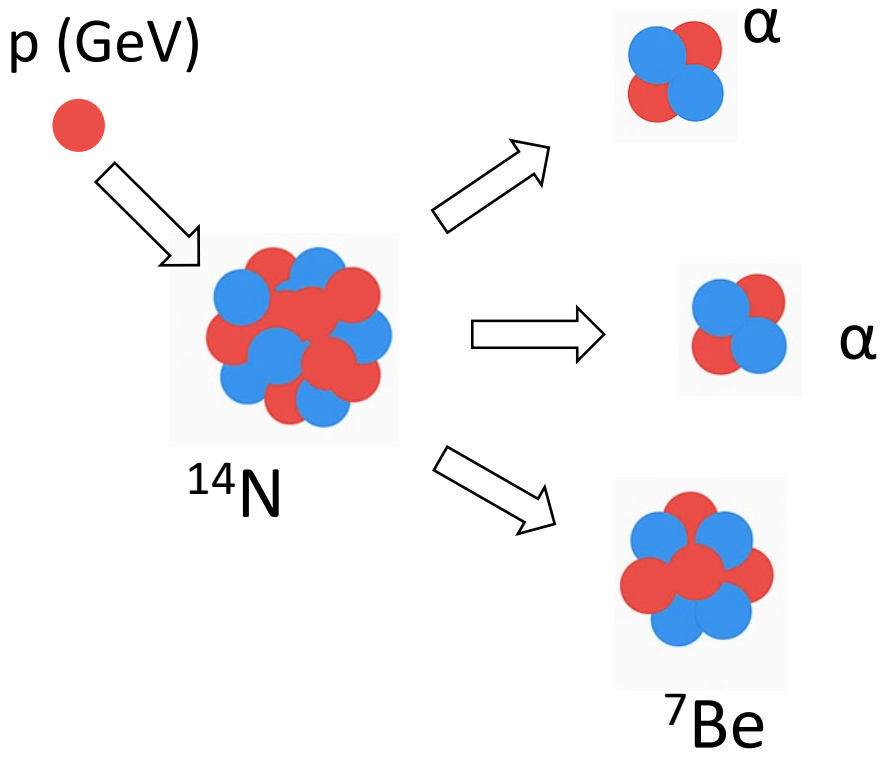
Radioisótopos en la Naturaleza

TABLE 6-1a

Radionuclides Induced in the Earth's Atmosphere by Cosmic Rays[a]

Radionuclide	Half-life	Major radiations	Target nuclides
^{10}Be	1,600,000 y	β^-	N, O
^{26}Al	720,000 y	β^+	Ar
^{36}Cl	300,000 y	β^-	Ar
^{80}Kr	213,000 y	K X ray	Kr
^{14}C	5730 y	β^-	N, O
^{32}Si	~650 y	β^-	Ar
^{39}Ar	269 y	β^-	Ar
^{3}H	12.33 y	β^-	N, O
^{22}Na	2.60 y	β^+	Ar
^{35}S	87.4 d	β^-	Ar
^{7}Be	53.3 d	γ	N, O
^{37}Ar	35.0 d	K X ray	Ar
^{33}P	25.3 d	β^-	Ar
^{32}P	14.28 d	β^-	Ar
^{38}Mg	21.0 h	β^-	Ar
^{24}Na	15.0 h	β^-	Ar
^{38}S	2.83 h	β^-	Ar
^{31}Si	2.62 h	β^-	Ar
^{18}F	109.8 m	β^+	Ar
^{39}Cl	56.2 m	β^-	Ar
^{38}Cl	37.29 m	β^-	Ar
^{34m}Cl	31.99 m	β^+	Ar

Eisenbud & Gesell (1997)



Radioisótopos en la Naturaleza

- **Radioisótopos Primordiales:**

10^8 años: indetectables (10 periodos transcurridos)

10^9 años: Existentes con periodo de semidesintegración comparable a la edad del universo ($13{,}8 \cdot 10^9$ años)

10^{10} años: han decaído muy poco

Radioisótopos en la Naturaleza

- **Radioisótopos Primordiales: únicos**

TABLE 6-1b

Nonseries Primordial Radionuclides[a]

Radionuclide	Half-life (y)	Major radiations	Typical crustal concentration (Bq kg^{-1})[b]
^{40}K	1.26×10^{9}	β, γ	630
^{50}V	6×10^{15}	γ	2×10^{-5}
^{87}Rb	4.8×10^{10}	β	70
^{113}Cd	$>1.3 \times 10^{15}$	Not reported	$<2 \times 10^{-6}$
^{115}In	6×10^{14}	β	2×10^{-5}
^{123}Te	1.2×10^{13}	X rays	2×10^{-7}
^{138}La	1.12×10^{11}	β, γ	2×10^{-2}
^{142}Ce	$>5 \times 10^{16}$	Not reported	$<1 \times 10^{-5}$
^{144}Nd	2.4×10^{15}	α	3×10^{-4}
^{147}Sm	1.05×10^{11}	α	0.7
^{152}Gd	1.1×10^{14}	α	7×10^{-6}
^{174}Hf	2.0×10^{15}	α	2×10^{-7}
^{176}Lu	2.2×10^{10}	e^{-}, γ	0.04
^{187}Re	4.3×10^{10}	β	1×10^{-3}
^{190}Pt	6.9×10^{11}	α	7×10^{-8}
^{192}Pt	1×10^{15}	α	3×10^{-6}
^{209}Bi	$>2 \times 10^{18}$	α	$<4 \times 10^{-9}$

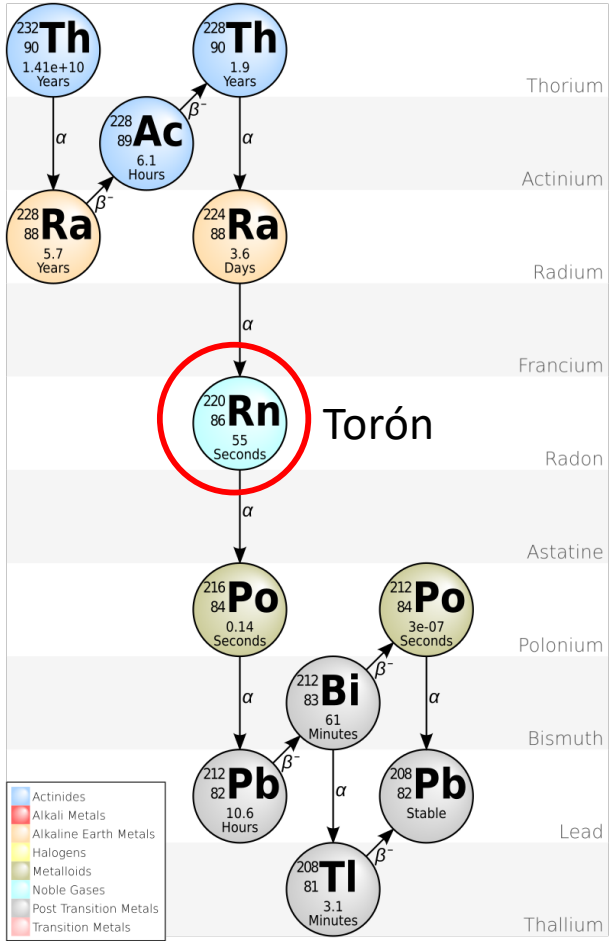
[a]Adapted from NCRP (1987a).
[b]One Bq = 27 pCi.

Eisenbud & Gesell (1997)

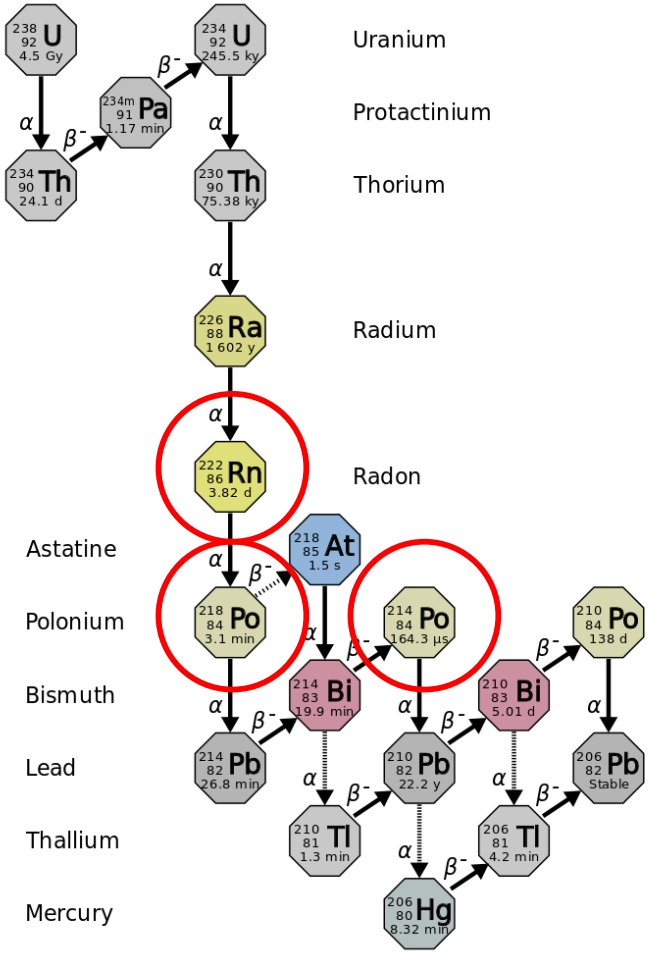
Radioisótopos en la Naturaleza

- **Radioisótopos Primordiales: Series o Cadenas Radiactivas**

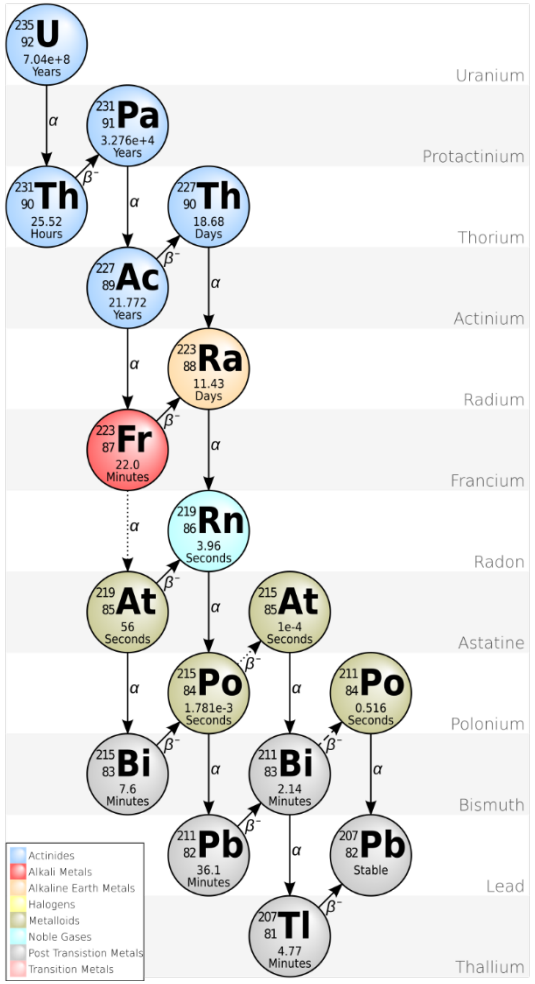
Serie del Torio



Serie del Uranio



Serie del Actinio



Referencias

- Eisenbud, M., & Gesell, T. F. (1997). *Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources: from natural, industrial and military sources*. Elsevier.

- International Atomic Energy Agency (2004). Radiation, People and the Environment. Vienna, Austria, IAEA/PI/A, 75, 04-00391.

- Krane, K. S. (1991). *Introductory nuclear physics*. John Wiley & Sons.

- Knoll, G. F. (2010). *Radiation detection and measurement*. John Wiley & Sons.

- Live Chart of Nuclides: https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html

Módulo I. Aspectos básicos de la radiactividad

Tema 2. Fuentes de radiactividad ambiental. Magnitudes y unidades radiológicas

Dr. Daniel Rábago (daniel.rabago@unican.es)

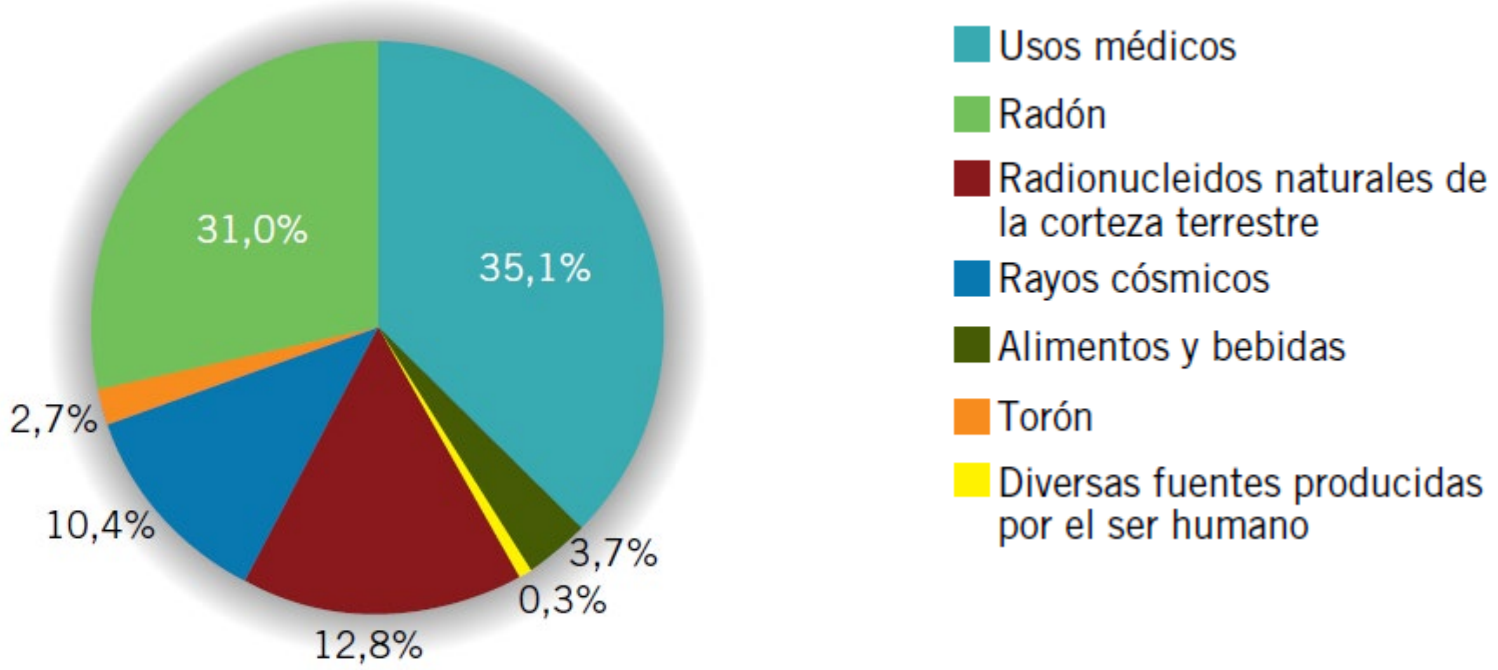
LaRUC Laboratorio de Radiactividad Ambiental | Universidad de Cantabria

UC | Universidad de Cantabria

Fuentes de Radiactividad Ambiental

- Dosis promedio recibida por la población al año (CSN, 2010)

Total: 3.7 mSv
Natural: 2.4 mSv
Radón: 1.2 mSv
Usos Médicos: 1.29 mSv
Diversas Fuentes: 0,1 mSv

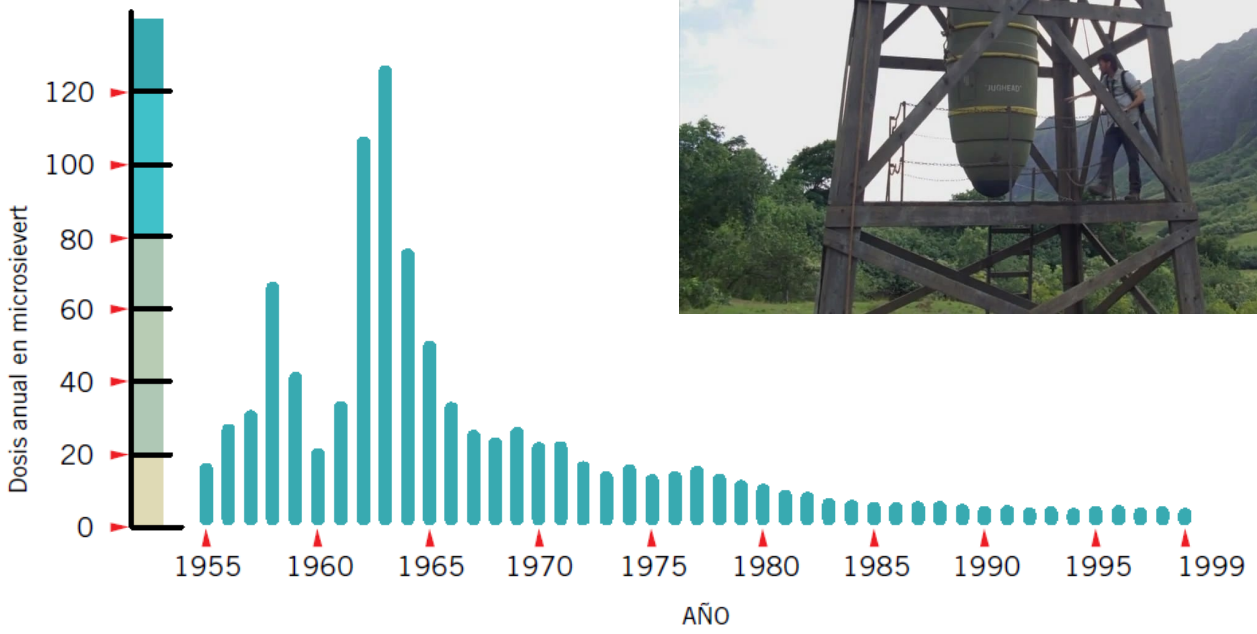


Fuentes de Radiactividad Ambiental

- Dosis debida a Diversas fuentes producidas por el ser humano: 0.1 mSv

- ❑ *Fallout* pruebas nucleares
- ❑ Accidentes nucleares
- ❑ Exposición profesional
- ❑ Otros (Vuelos, aplicaciones, etc)



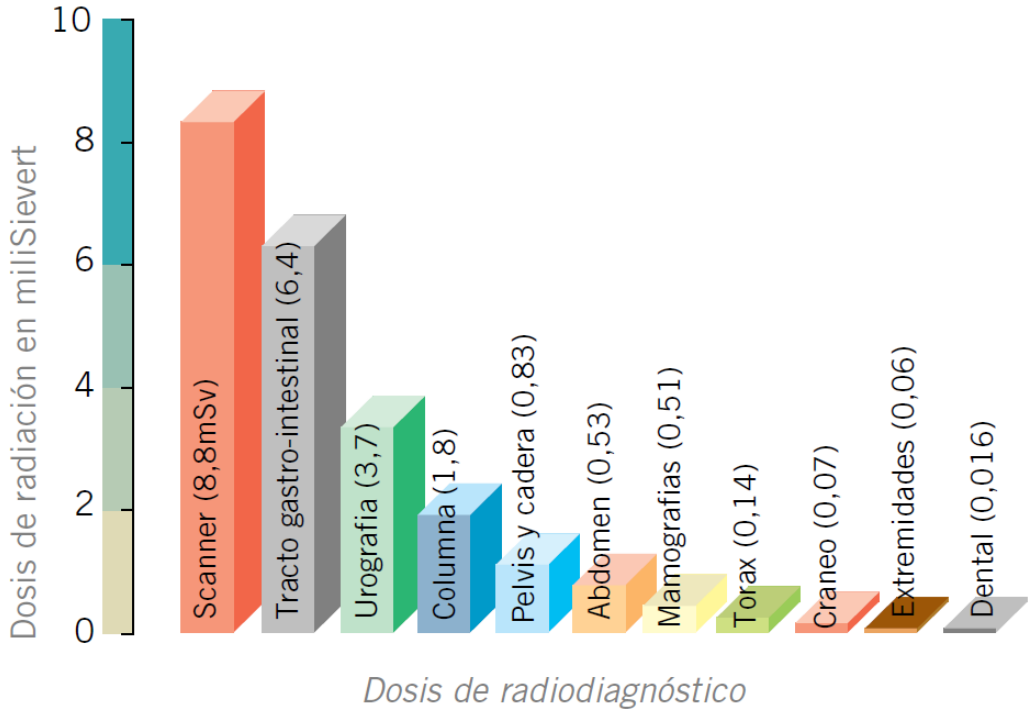


Dosis promedio anual recibida por una persona en el hemisferio norte a causa de la lluvia radiactiva.

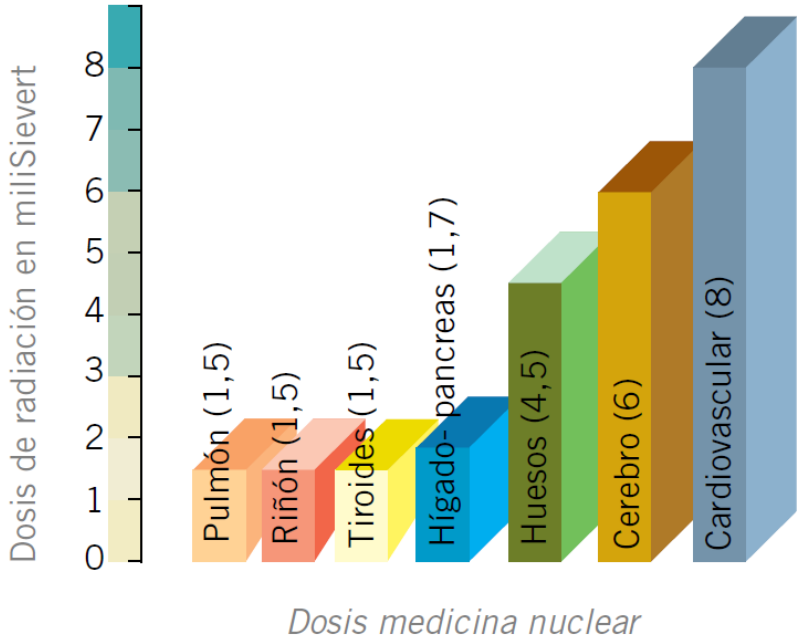
Fuentes de Radiactividad Ambiental

- Dosis debida a Usos Médicos: 1.29 mSv

Diagnóstico con Rayos X: 1.20 mSv



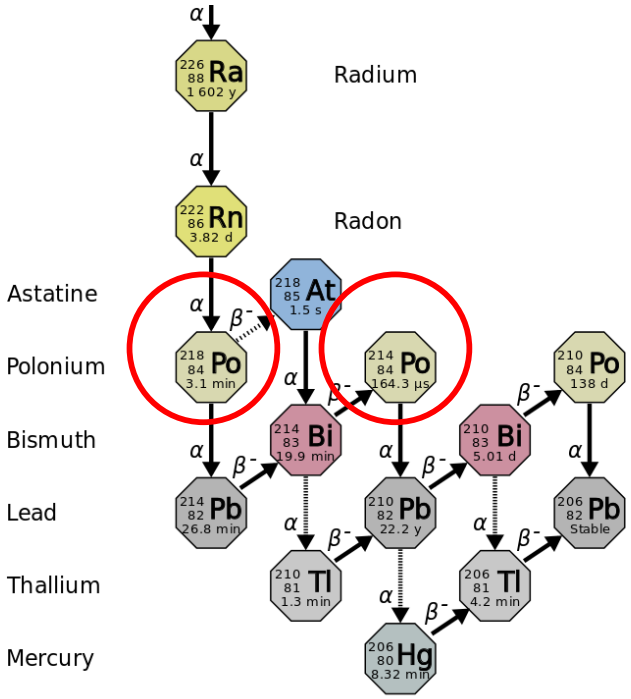
Diagnóstico Medicina nuclear: 0.09 mSv



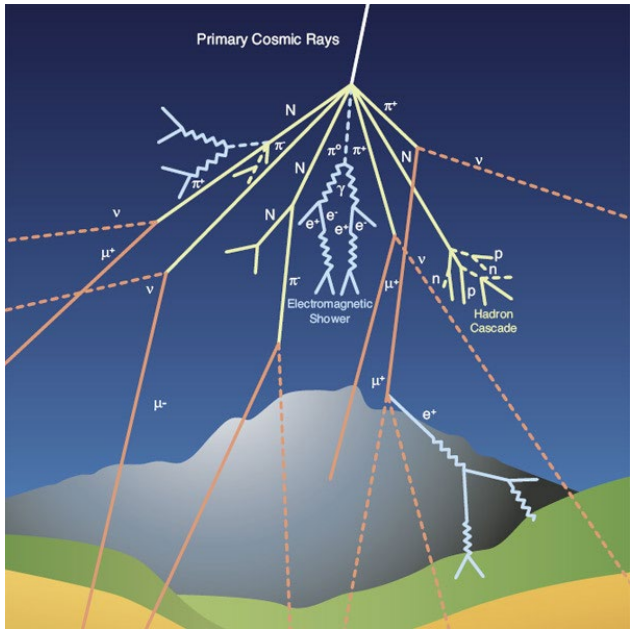
Fuentes de Radiactividad Ambiental

- Dosis debida a Radiación Natural: 2,4 mSv (2/3 del total)

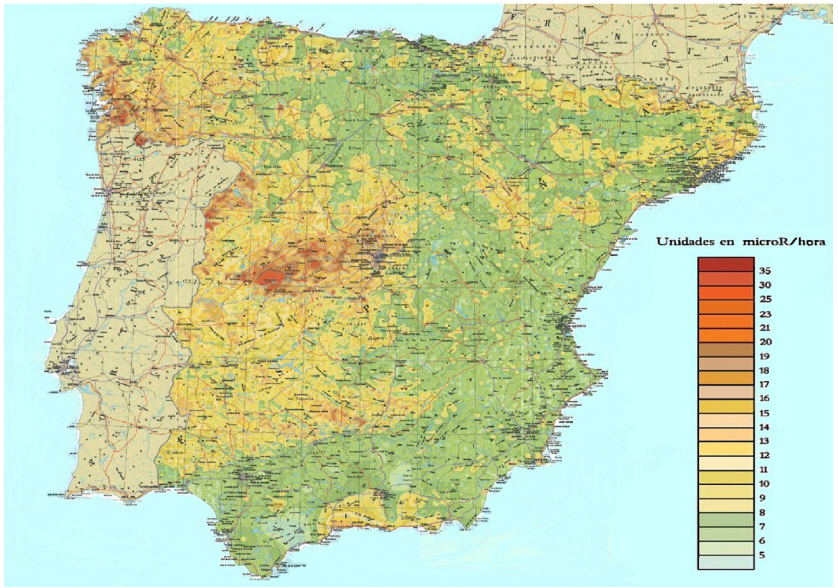
Radón (31 del total)



Radiación Cósmica (10% total)



Radionucleidos corteza Terrestre (13% total)



Actividad *A*

- **Actividad *A***

Número de desintegraciones nucleares espontáneas que tienen lugar en un radionucleido por unidad de tiempo.

Unidad S.I.

Bequerelio Bq = 1 desintegración/s

Unidad antigua

Curio Ci = 3,7 10^{10} Bq= 37 GBq [Actividad aproximada de 1 g de ^{226}Ra]

$$A = \lambda \cdot N$$



Ley de la desintegración radiactiva

- **Ley de la desintegración radiactiva:**

La desintegración radiactiva obedece una ley de decrecimiento exponencial dada por:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \qquad A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$N(t)$: Número de núcleos radiactivos en el tiempo t

N_0: Núcleos radiactivos iniciales (t=0)

λ: Constante de decaimiento radiactivo (característica de cada elemento) $\lambda = \frac{\mathrm{Ln}\ 2}{T_{1/2}}$

$T_{1/2}$: Periodo de semidesintegración ($N = N_0/2$)

Ley de la desintegración radiactiva

- **Ley de la desintegración radiactiva:**

La desintegración radiactiva obedece una ley de decrecimiento exponencial dada por:

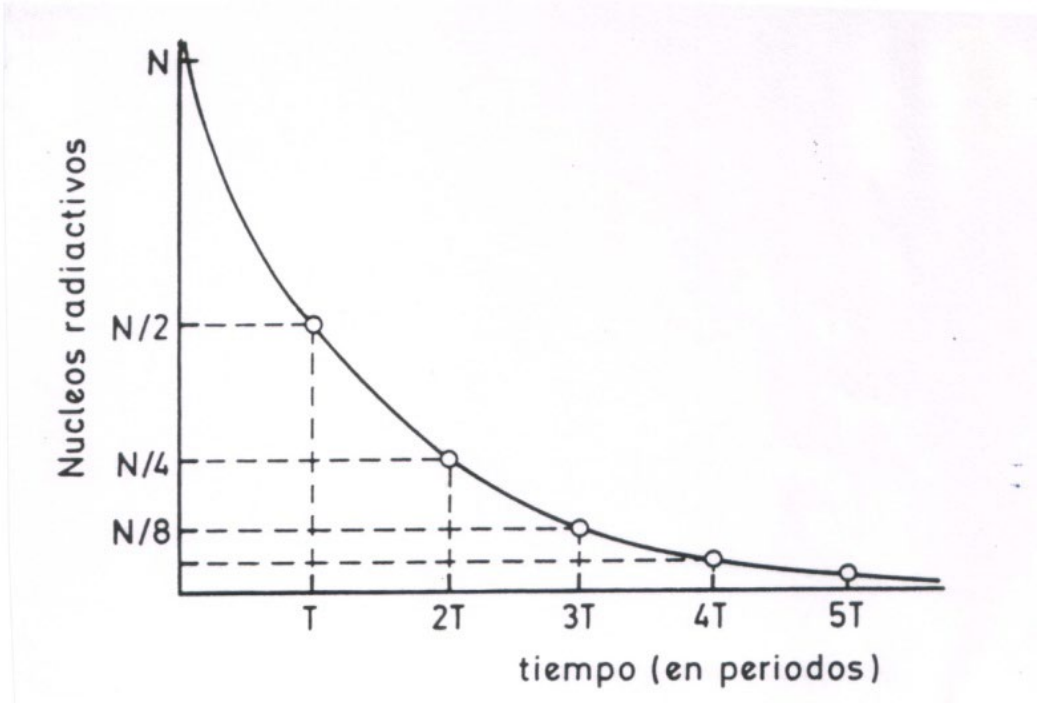


Fig. 4.4. Decrecimiento por desintegración de un radisótopo.

$$A(nT) = \frac{A_0}{2^n}$$

Actividad específica A_m

- **Actividad específica A_m**

Actividad por unidad de masa de material radiactivo puro

Unidad S.I.

$[A_m]$ = Bq/kg o $[A_m]$ = Bq/m^3 **Utilizado normalmente: Bq/g**

En el caso de un líquido o gas se expresa por unidad de volumen en condiciones normales de *P* y *T*.

Ejercicio: Calcular la actividad específica de:

1 g de ^{226}Ra ($T_{1/2}$= 1602 años)

1 g de ^{131}I ($T_{1/2}$ = 8 días)

Actividad específica A_m

- **Actividad específica A_m**

Actividad por unidad de masa de material radiactivo puro

Unidad S.I.

[A_m] = Bq/kg o [A_m] = Bq/m^3 **Utilizado normalmente: Bq/g**

En el caso de un líquido o gas se expresa por unidad de volumen en condiciones normales de *P* y *T*.

$$A_m(\mathrm{Bq/g}) = \lambda(\mathrm{s}) \cdot N\left(\frac{\mathrm{atomos}}{\mathrm{g}}\right) = \frac{\mathrm{Ln}\ 2}{T_{1/2}(\mathrm{s})} \cdot \frac{N_A}{M_m}$$

$N_A(\mathrm{atomos/mol})$: número de Avogadro =6.022 x 10^{23}

$M_m(\mathrm{g/mol})$: masa molar

Exposición *X*

- **Exposición *X***

Cantidad de carga eléctrica liberada por acción de los fotones X o gamma en una masa de aire.

Unidad S.I.

Culombio/Kilogramo de aire (C/kg)

Unidad antigua

Roentgen R = 2,58 10^{-4} C/kg

1C/kg = 3876 R

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Tasa de Exposición $\dot{X}$

- **Tasa de Exposición ($\dot{X}$)**

Cantidad de carga eléctrica liberada por acción de los fotones X o gamma en una masa de aire por unidad de tiempo.

Unidad S.I.

Culombio/Kilogramo por segundo (C/kg·s)

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

Unidad antigua

Roentgen R/h



Tasa de Exposición $\dot{X}$

- *What does the dosimeter say?*
- *3.6 Roentgen, but that's as high as the meter…*
- *3.6 Not great, Not terrible*



¿Exposición o Tasa de Exposición?

Actividad - Tasa de Exposición $\dot{X}$

- **Tasa de Exposición ($\dot{X}$) → Actividad** *A*

- Necesario conocer la tasa de exposición de una fuente con actividad *A*
- Depende del numero de fotones emitidos por cada desintegración
- Energía de los fotones

$$\dot{X} = \Gamma \frac{A}{d^2}$$

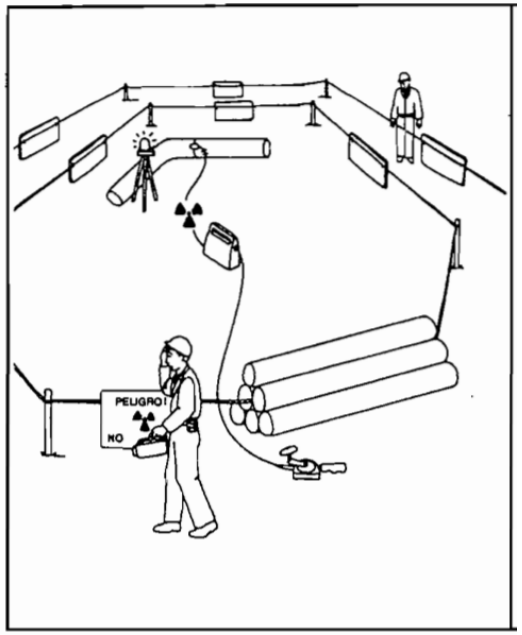
Radionucleido	Γ (R/h) a 1 m para 1 Ci
^{137}Cs	0.31
^{60}Co	1.32
^{131}I	0.22

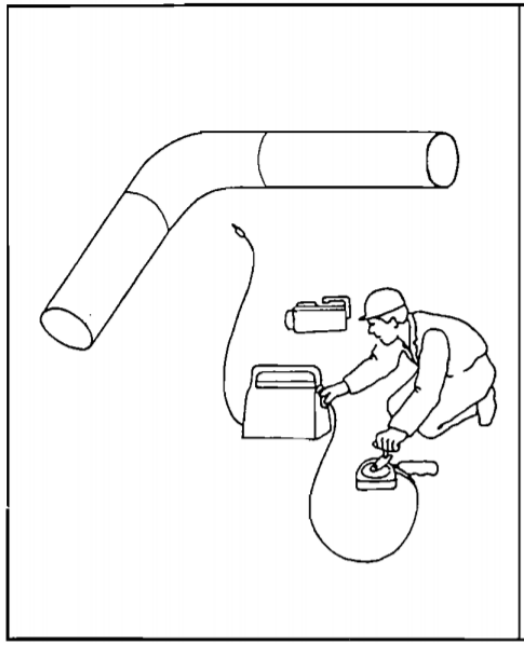
Γ : constante específica de tasa de exposición
d: distancia entre la fuente y el punto considerado
A: Actividad de la fuente

Actividad - Tasa de Exposición $\dot{X}$

- **Ejercicio**

Durante la realización de un gammagrafía para comprobar el estado de la soldadura de un tubo metálico, la fuente de ^{60}Co (A= 8 mCi) se ha quedado atascada y es necesario acercarse a 2 metros de distancia para accionar el mecanismo que la introduce de nuevo al blindaje. Calcular la tasa de exposición a dicha distancia.





Dosis Absorbida *D*

- **Dosis Absorbida *D***

Energía recibida por cualquier radiación ionizante por unidad de masa.

Efectos biológicos ligados fundamentalmente a la energía absorbida por los tejidos procedente de las partículas o fotones.

Unidad S.I.

Gray (Gy) = 1 J/kg

$$D = \frac{dE}{dm} \qquad \dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Unidad antigua (CGS)

rad = 0.01 Gy

1 Gy = 100 rad

Dosis Absorbida *D*

- **Dosis Absorbida *D***

Energía recibida por cualquier radiación ionizante por unidad de masa.

Efectos biológicos ligados fundamentalmente a la energía absorbida por los tejidos procedente de las partículas o fotones.

Unidad S.I.

Gray (Gy) = 1 J/kg

Unidad antigua (CGS)

rad = 0.01 Gy

1 Gy = 100 rad

Tabla 1 Efectos sobre algunos tejidos y órganos expuestos según la dosis

Órgano	Dosis media absorbida (Gy)	Efectos
Piel	5	Alopecia
Piel	2 a 5	Eritema
Testículo	> 4	Esterilidad permanente
Testículo	0,15 a 4	Esterilidad temporal
Ovarios	> 3	Esterilidad permanente
Ovarios	> 0,6	Esterilidad temporal
Cristalino	> 2	Cataratas
Médula ósea	0,25	Decrecimiento plaquetario

Dosis Absorbida *D*

- **Ejercicio**

Un paciente recibe una inyección de $1.1 \cdot 10^8$ Bq de ^{131}I, el cual se acumula en la tiroides (m= 20 g). La energía media de la radiación emitida es E= 300 keV. ¿Cuál es la dosis absorbida recibida en una hora?

- Toda la energía se deposita en la tiroides
- Intervalo de tiempo mucho mas pequeño que $T_{1/2}$

Dosis Absorbida *D*

- **Ejercicio**

Un paciente recibe una inyección de $1.1 \cdot 10^8$ Bq de ^{131}I, el cual se acumula en la tiroides (m= 20 g). La energía media de la radiación emitida es E= 300 keV. ¿Cuál es la dosis absorbida recibida en una hora?

$$\dot{D} = \frac{D}{t} = A \cdot \frac{E}{m} = 1.1 \cdot 10^8 \text{ Bq} \frac{3 \cdot 10^5 \text{ eV}}{2 \cdot 10^{-2} \text{kg}} \cdot \frac{1.6 \cdot 10^{-19} \text{J}}{1 \text{ eV}} = 264 \text{ µGy/s}$$

$$D = \dot{D} \cdot t = \frac{264 \text{ µGy}}{\text{s}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} 1 \text{ h} = 0.95 \text{ Gy}$$

Dosis Absorbida - Exposición

- **Dosis Absorbida → Exposición**

La exposición está definida sólo para aire, cuando se trata de otro material (especialmente en tejidos biológicos) se hace la conversión a través del factor *f*

$$D = f \cdot X$$

Depende de la energía de los fotones y del material sobre el que se incide

	***E* (keV)**	**Aire**	**Agua**	**Hueso**	**Músculo**
f (rad/R)	10	0,869	0,91	3,5	0,93
	100	0,869	0,96	1,5	0,96
	1000	0,869	0,98	0,93	0,97

Tejidos Blandos $f \approx 1$ → 1 R = 1 rad (10 mGy)

Kerma *K*

- **Kerma** (*kinetic energy released per unit of mass*)

Cuantifica la transferencia de energía de las radiaciones indirectamente ionizantes (fotones o neutrones) a las partículas cargadas del medio.

$$\boxed{K = \frac{dE_{tr}}{dm}}$$

Suma promedio de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas cargadas liberadas

Cuantifica la conversión de energía de los fotones a energía cinética de partículas cargadas secundarias liberadas en el medio

Parte de la energía se deposita en el medio y parte escapa en forma de fotones por procesos radiativos (ejemplo: radiación de frenado)

Dosis Equivalente *H*

- **Dosis Equivalente** *H*

La exposición y dosis absorbida insuficientes para evaluar el efecto biológico

La probabilidad de que se produzcan efectos biológicos depende:

- Dosis absorbidas
- Tipo de radiación
- Energía de la radiación

Por ello se pondera la dosis absorbida por un factor W_R, de ponderación de la radiación.

Dosis Equivalente *H*

- **Dosis Equivalente** *H*

El factor de ponderación W_R está relacionado con la transferencia lineal de energía (LET), energía que cede la radiación al medio de interacción por unidad de recorrido.

$$H = W_R \cdot D$$

Unidad S.I.
Sievert (Sy) = 1 J/kg

Unidad antigua (CGS)
rem (Roentgen equivalent man)
1 Sv = 100 rem

Dosis Equivalente *H*

- **Factor de ponderación de la radiación W_R**

$$H(\mathrm{Sv}) = W_R \cdot D(\mathrm{Gy})$$

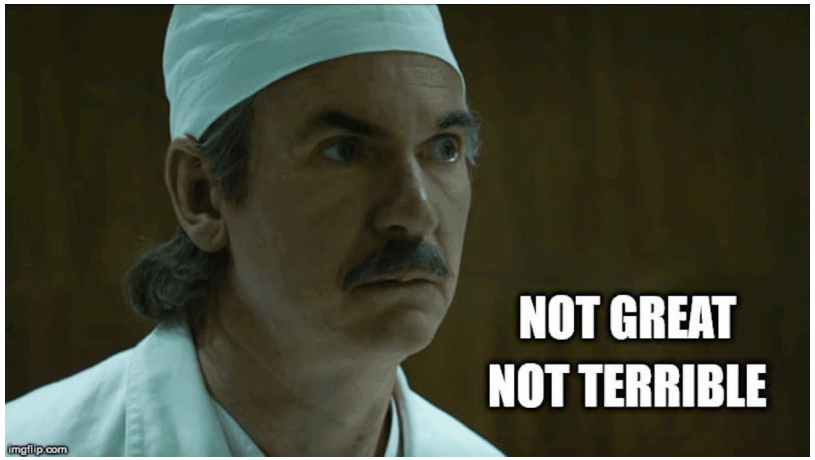
$$H(\mathrm{rem}) = W_R \cdot D(\mathrm{rad})$$

Tipo de radiación	Rango de energía	W_R
Fotones	todas	1
Electrones	todas	1
Neutrones	< 10 keV	5
	>10 a 100 keV	10
	> 100 keV a 2 MeV	20
	> 2 MeV a 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Protones	> 2 MeV	5
Partículas alfa, fragmentos de fisión, núcleos pesados	todas	20

Dosis Equivalente *H*

- **Ejercicio:**

Calcular tasa de dosis equivalente de 3.6 R/h para fotones en tejidos blandos

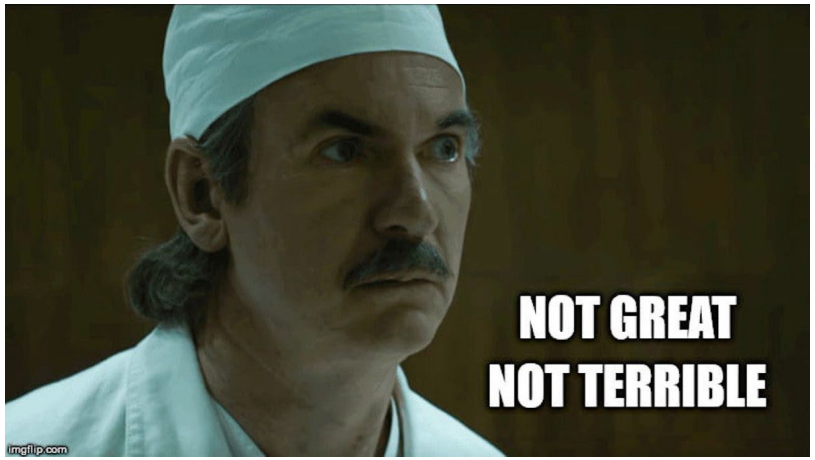


Dosis Equivalente *H*

- **Ejercicio:**

Calcular tasa de dosis equivalente de 3.6 R/h para fotones en tejidos blandos

$$H = W_R \cdot D = W_R \cdot f \cdot X = 36 \text{ mSv/h}$$



W_R = 1 (fotones)
f = 1 (Tejidos blandos)
1 R = 1 rad (10 mGy)

Dosis Equivalente *H*

- **Ejercicio**

El pórtico de radiactividad de una chatarrería ha detectado una fuente radiactiva a la entrada. La chatarra se ha depositado en una campa habilitada. Se ha medido la tasa de exposición a 5 metros obtenido un valor medio neto de 0.7 µSv/h. ¿Cuál es el valor a 2 metros de la fuente?



Dosis Efectiva H_e

- **Dosis Efectiva** H_e

Suma ponderada de las dosis equivalentes medias recibidas en distintos órganos o tejidos.

$$H_e = \sum W_T \cdot H = \sum W_T \cdot \sum W_R \cdot D$$

Factor de ponderación tipo de tejido

Factor de ponderación tipo de radiación

Dosis absorbida

Dosis Efectiva H_e

- **Factor de ponderación tipo de órgano o tejido W_T**

Tejido	W_T	$\sum W_T$
Médula ósea (roja), colon, pulmón, estómago, mama, resto de tejidos	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Hígado, vejiga, esófago, tiroides	0,04	0,16
Superficie ósea, cerebro, glándulas salivales, piel	0,01	0,04
Total: Organismo entero		1,00

Dosis Efectiva H_e

- **Dosis efectiva para diferentes estudios**

	Dosis efectiva (mSv)	Cantidad equivalente de placas de tórax
Tipo de estudio		
Radiografía de extremidades	< 0,01	< 0,5
Radiografía de tórax PA	0,02	1
Radiografía de cráneo	0,07	3,5
Radiografía de cadera	0,3	15
Radiografía de columna dorsal	0,7	35
Radiografía de columna lumbar	1,3	65
Radiografía de pelvis	0,7	35
Radiografía de abdomen	1,0	50
Esofagograma	1,5	75
Urograma excretor	2,5	125
Esófago-gastro-duodenal	3	150
Tránsito intestinal	3	150
Colon por enema	7	350
Medicina nuclear		
TC de cabeza	2,3	115
TC de tórax	8	400
TC de abdomen o pelvis	10	500
Medicina nuclear		
Ventilación pulmonar (Xe-133)	0,3	15
Perfusión pulmonar (Tc-99m)	1	50
Renal (Tc-99m)	1	50
Tiroidea (Tc-99m)	1	50

Magnitudes Radiológicas

	Actividad *A*	Exposición *X*	Kerma	Dosis Absorbida D	Dosis Equivalente H	Dosis Efectiva H_e
	$A = \lambda \cdot N$	$X = \frac{dQ}{dm}$	$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$	$D = \frac{dE}{dm}$	$H = WR \cdot D$	$H_e = \sum W_T \cdot \mathrm{H}$
Unidades S.I.	Bq = s^{-1}	C/kg·s	Gy = J/kg	Gy = J/kg	Sv	Sv
Unidades antiguas	Ci	R	rad	rad	rem	
Equivalencias		R = 2,58 10^{-4} C/kg		1 Gy = 100 rad	1 Sv = 100 rem	

$$\boxed{D = f \cdot X}$$

Tejidos Blandos $f \approx 1$ → 1 R = 1 rad (10 mGy)

Referencias

- Thomas, D. J. (2012). *ICRU report 85: fundamental quantities and units for ionizing radiation.*
- CSN Consejo de Seguridad Nuclear (2010). Dosis de Radiación
- UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000). SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes
- Guidebook, A. (1989). Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. *Vienna: International Atomic Energy Agency*.

Módulo I. Aspectos básicos de la radiactividad

Tema 3. Detección y Medición de la radiación. Protección radiológica

Dr. Daniel Rábago (daniel.rabago@unican.es)

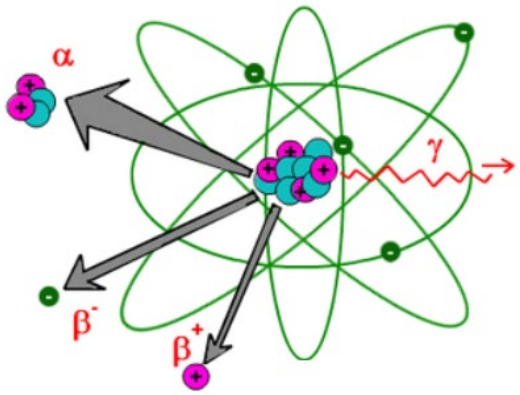
LaRUC Laboratorio de Radiactividad Ambiental | Universidad de Cantabria

UC | Universidad de Cantabria

Detección y medición de la radiación

Tipos:

- **Alfa (α):** núcleos de helio, muy ionizante, poco penetrante.
- **Beta (β):** electrones o positrones, más penetrante que alfa.
- **Gamma (γ)** y **rayos X:** radiación electromagnética muy penetrante.
- **Neutrones:** partículas sin carga, muy penetrantes

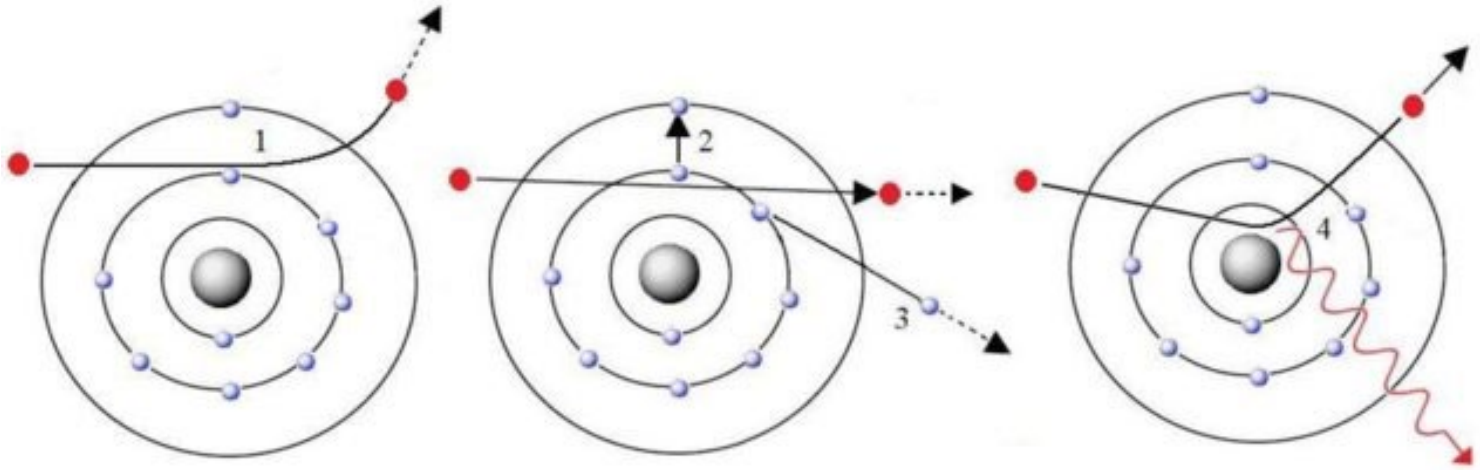


Detección y medición de la radiación

Interacción Radiación-Materia (Partículas Cargadas):

Interacción depende de la partícula (masa y carga), su energía y el tipo de medio

Principalmente interacción Coulombiana (protones – electrones):



(1) Colisión elástica

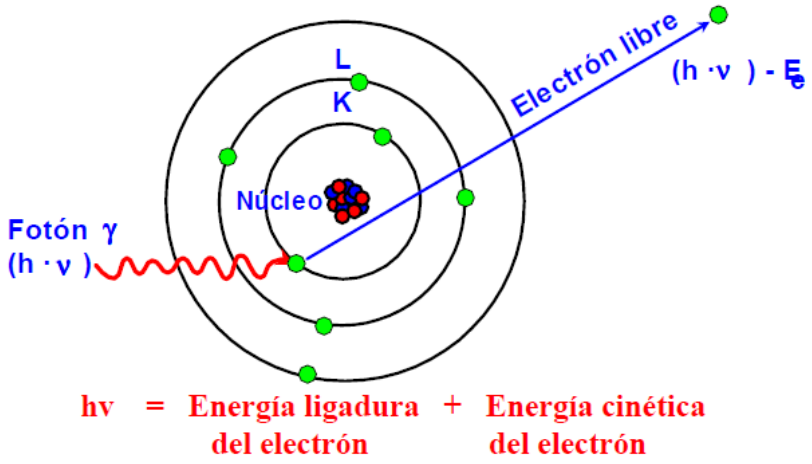
(2) Excitación

(3) Ionización

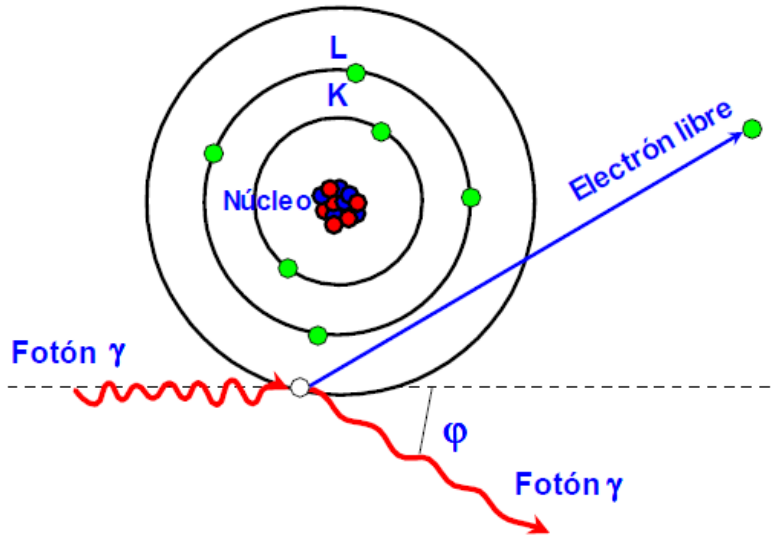
(4) Colisión Radiativa

Detección y medición de la radiación

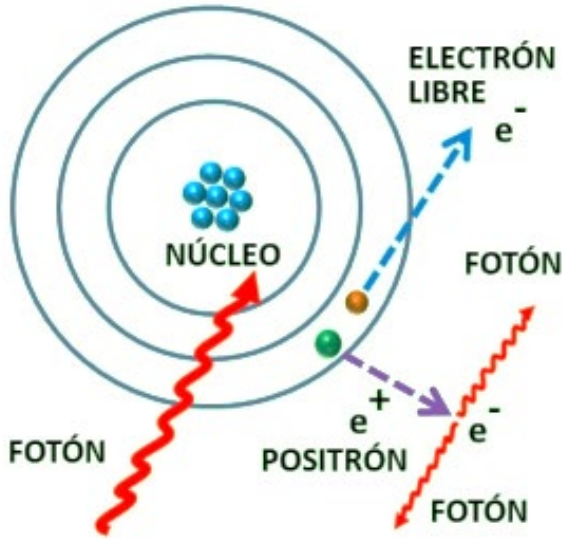
Interacción Radiación-Materia (Fotones):



Efecto Fotoeléctrico



Efecto Compton



Producción de Pares

Detección y medición de la radiación

Tipos de detectores:

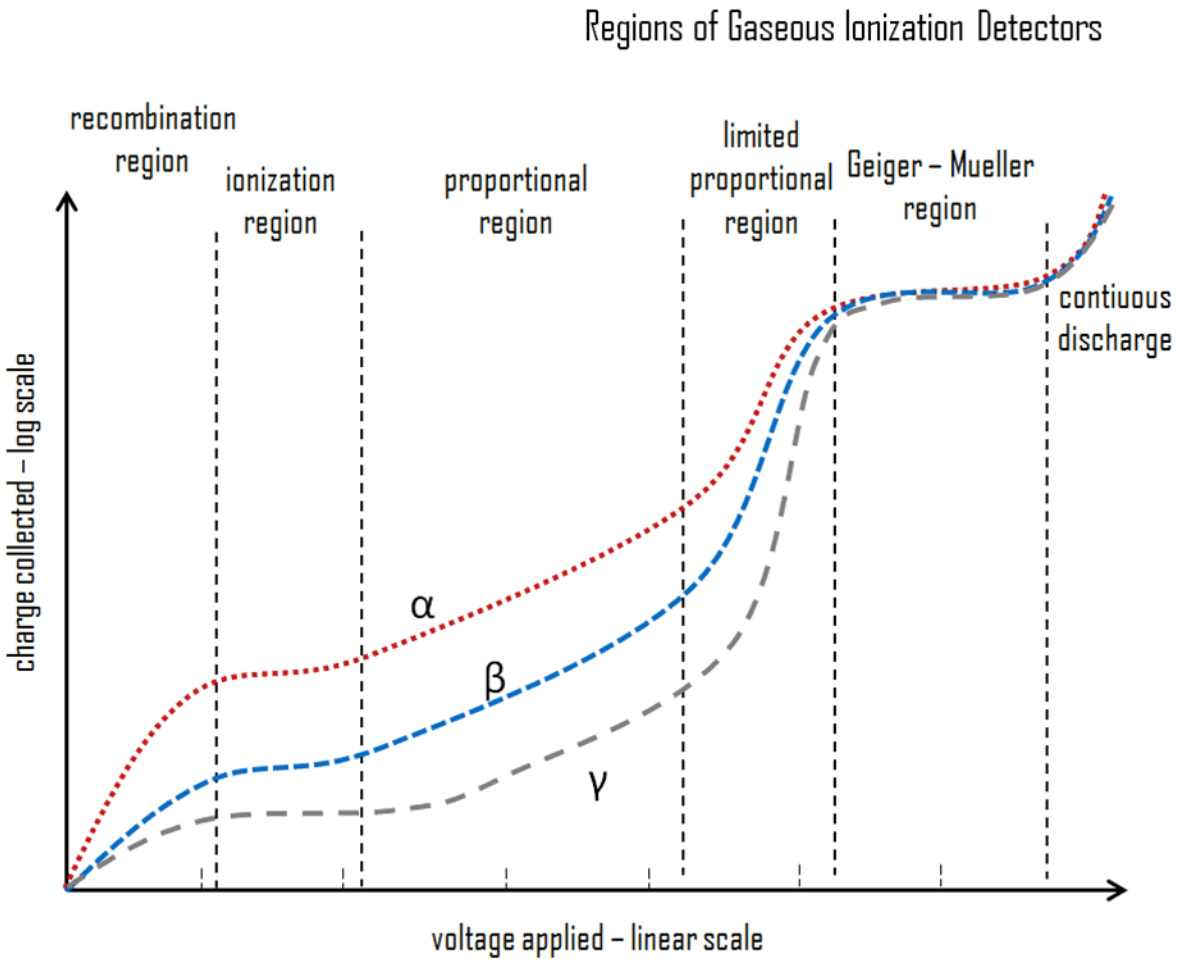
- **Detectores de Ionización Gaseosa**: Basados en la propiedad de las radiaciones ionizantes de ionizar gases.

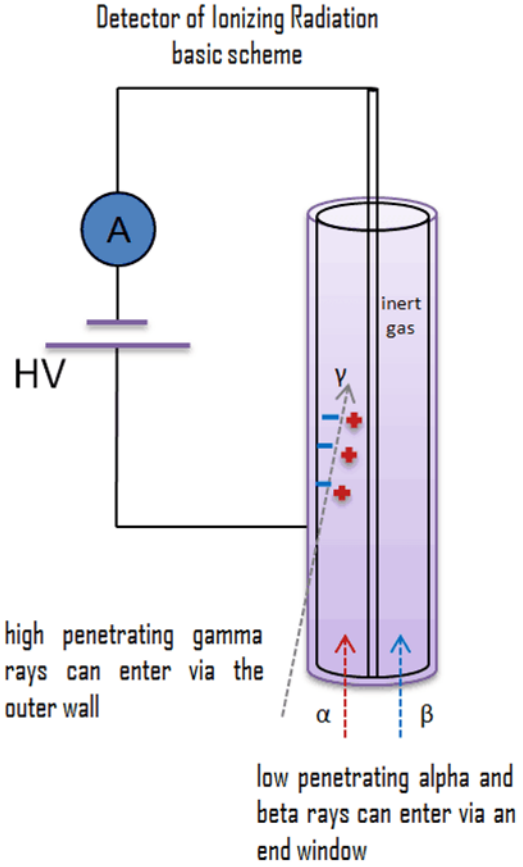
- **Detectores de Centelleo:** Basados en la propiedad de las radiaciones ionizantes de excitar niveles electrónicos en moléculas o redes cristalinas, unida a la propiedad de luminiscencia (emisión de luz) de algunas sustancias.

- **Detectores de Semiconductor:** Basados en la propiedad de las radiaciones ionizantes de excitar niveles electrónicos en cristales de materiales semiconductores como el silicio y el germanio, en determinadas condiciones.

Detección y medición de la radiación

Detectores de Ionización Gaseosa: Basados en la propiedad de las radiaciones ionizantes de ionizar gases.





Detección y medición de la radiación

Detectores de Ionización Gaseosa:

- Cámaras de Ionización.





- Contadores Proporcionales.



- Contadores Geiger



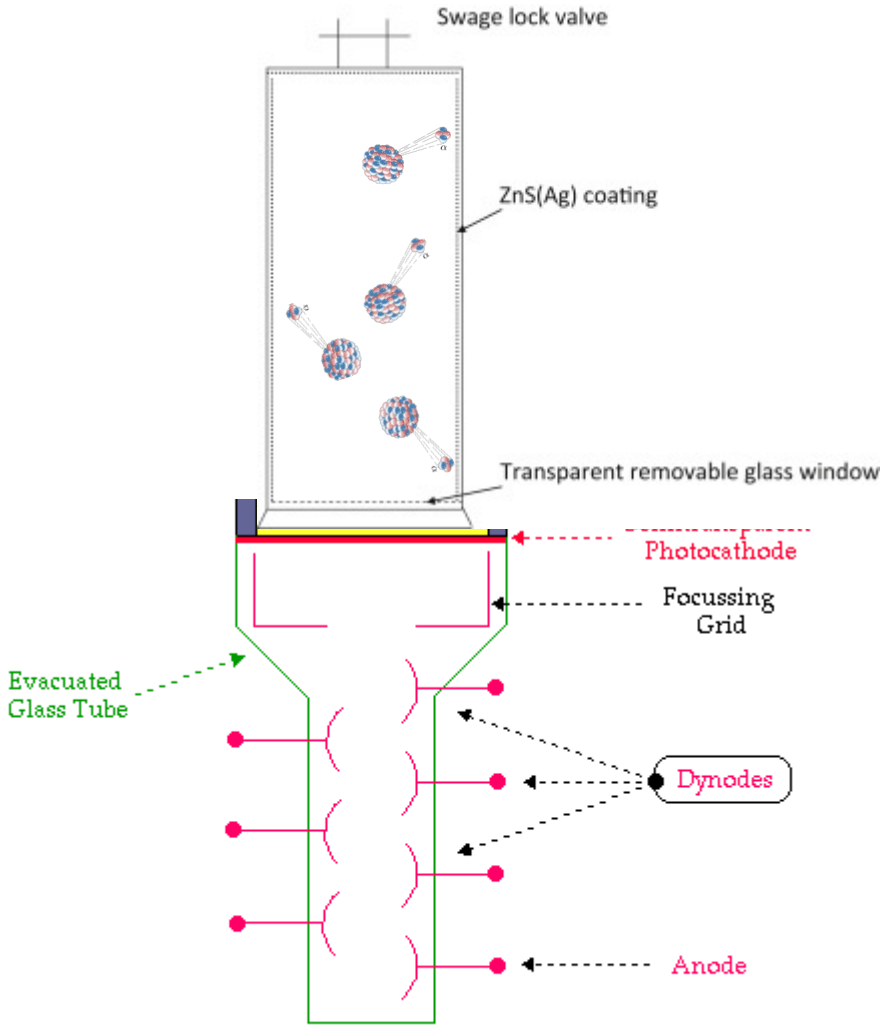
Detección y medición de la radiación

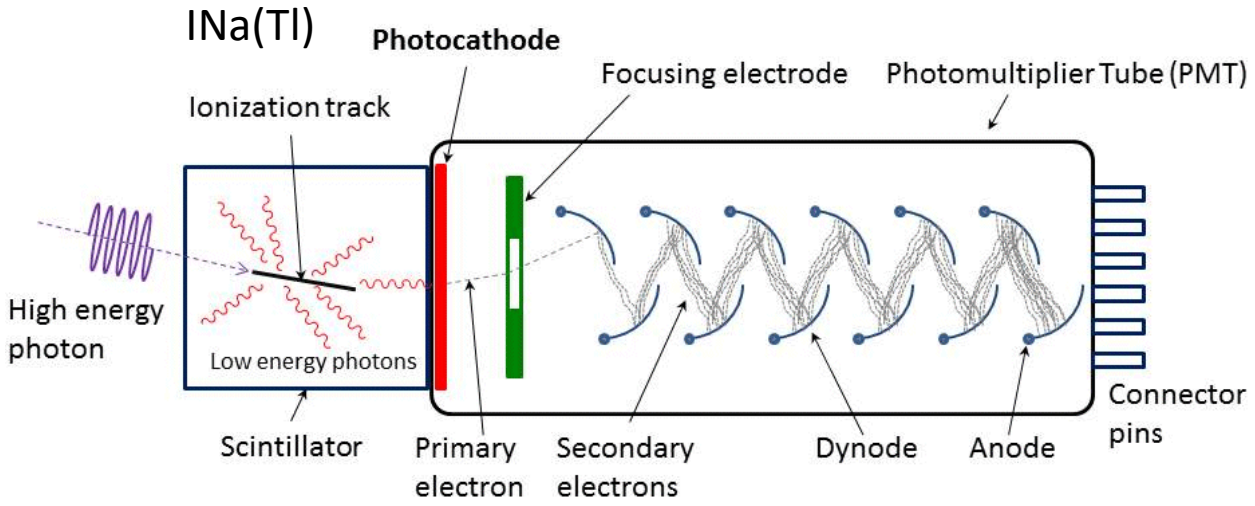
Detectores de Centelleo:

- Material que emite luz (centellea) al ser excitado por radiación ionizante.
- Sensibilidad a diferentes tipos de radiación: Dependiendo del diseño, puede detectar partículas alfa, beta, gamma o neutrones.
- Rápida respuesta: Tiempo de respuesta del orden de nanosegundos a microsegundos, ideal para conteo rápido.
- Detección óptica: La luz generada es recogida por un fotomultiplicador (PMT) o un fotodiodo.
- Señal eléctrica proporcional: La intensidad de la luz convertida en señal eléctrica es proporcional a la energía de la radiación incidente.

Detección y medición de la radiación

Detectores de Centelleo:









Detección y medición de la radiación

Detectores de Semiconductor:

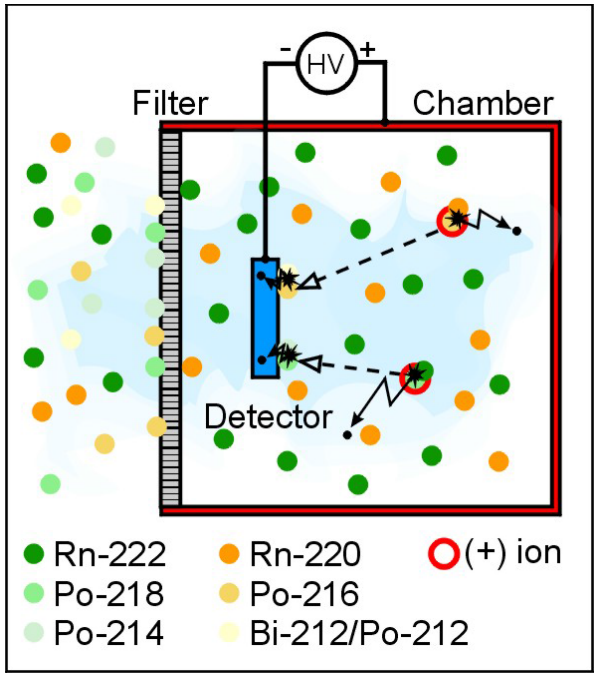
- Principio de funcionamiento: genera pares electrón-hueco por ionización.
- Campo eléctrico recolecta las cargas y produce una señal eléctrica.
- Alta resolución energética: ideal para espectroscopía precisa.
- Materiales comunes: Silicio (Si), Germanio (Ge), CdTe, CdZnTe.

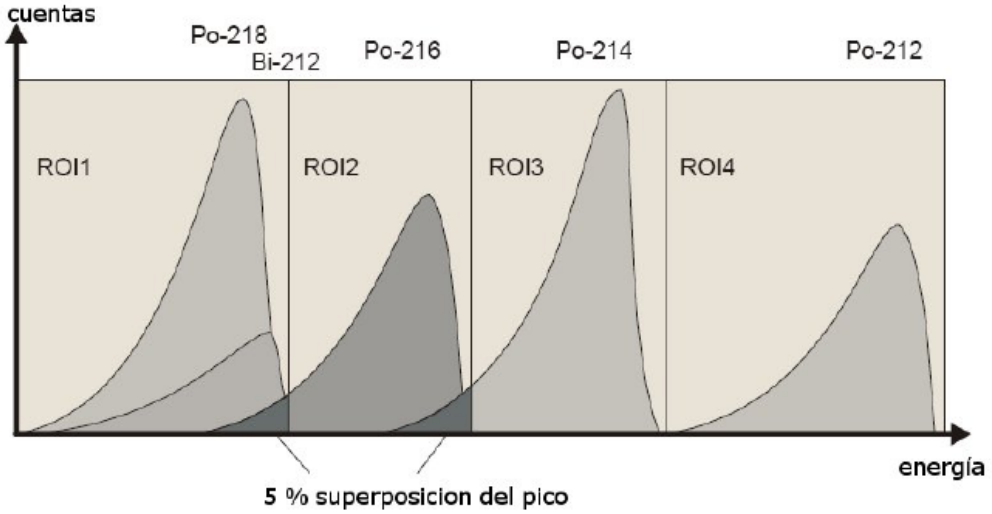
- Ventajas: compacto, preciso, respuesta rápida.
- Desventajas: costo, daño por radiación, algunos requieren enfriamiento.

Detección y medición de la radiación

Detectores de Semiconductor:







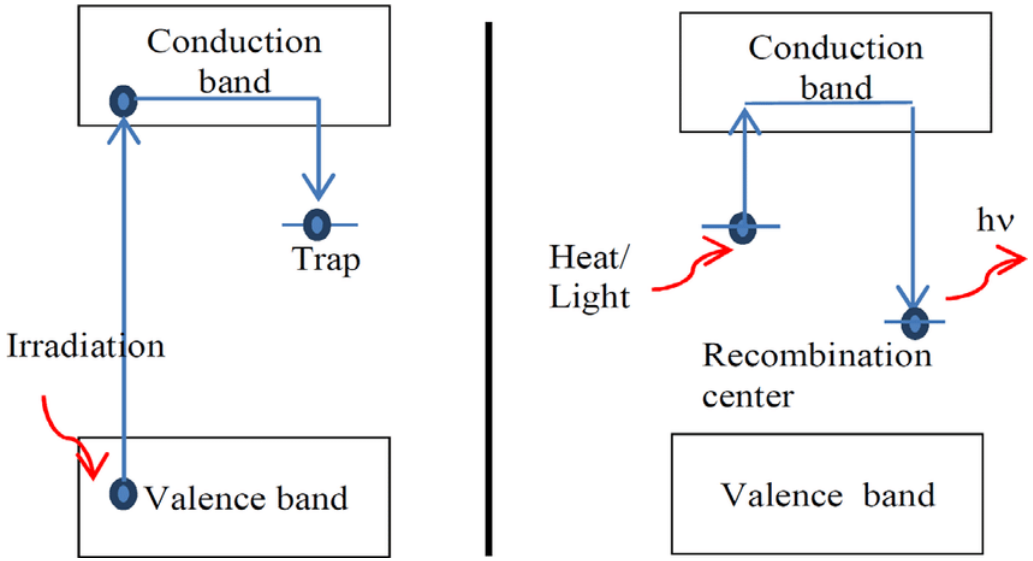
Detección y medición de la radiación

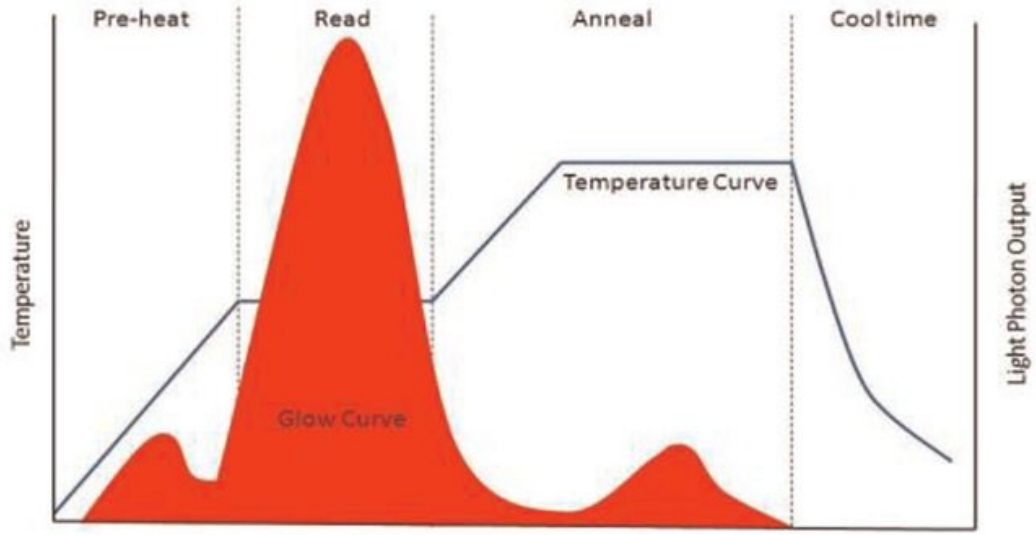
Otros tipos de detectores: Dosímetros de Termoluminiscencia TLDs





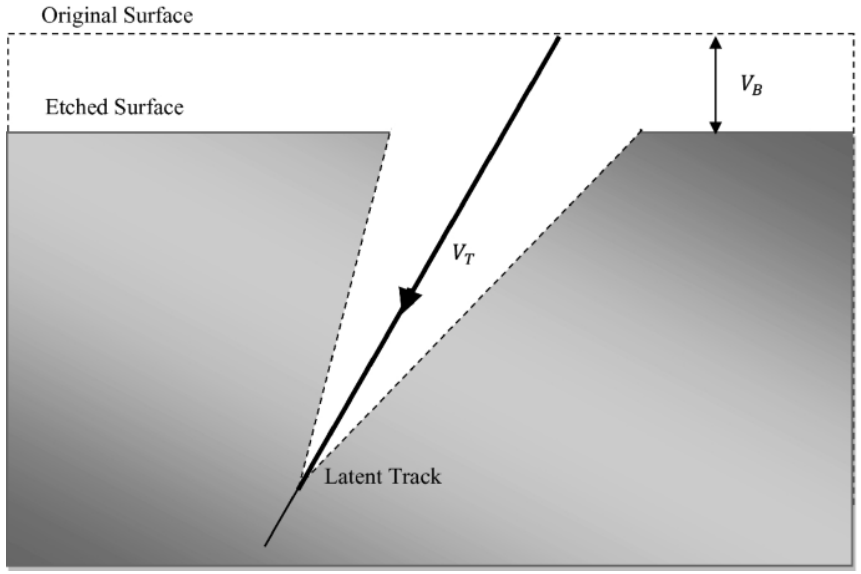




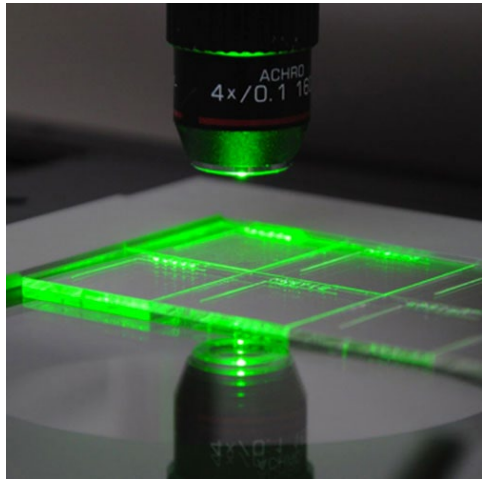


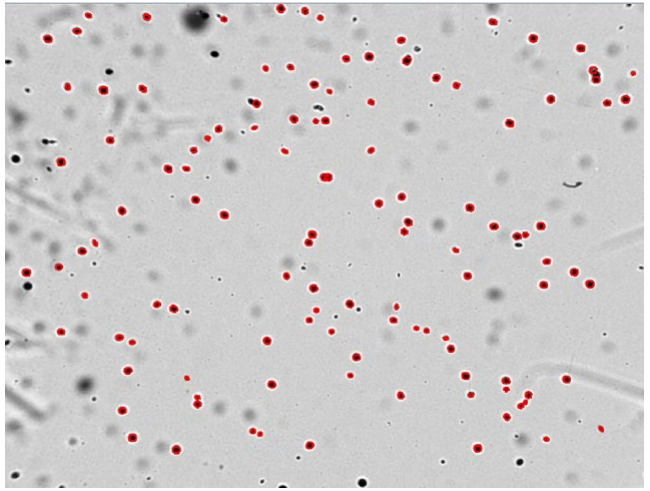
Detección y medición de la radiación

Otros tipos de detectores: Detectores de Trazas Nucleares (CR-39, LR-115, Makrofol)



- Partícula cargada pasa a través del material dieléctrico, rompe enlaces químicos y deja una traza a lo largo de su recorrido.
- Revelado químico
- Lectura con un microscopio





Protección Radiológica



La protección radiológica es una actividad multidisciplinar, de carácter científico y técnico, que tiene como finalidad la **protección de las personas y del medio ambiente contra los efectos nocivos** que pueden resultar de la exposición a **radiaciones ionizantes**.

Organismos en Protección Radiológica

IAEA
International Atomic Energy Agency

World Health Organization

EURATOM

ICRP
International Commission on Radiological Protection

UNSCEAR
United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS
ICRU
ESTABLISHED IN 1925

IRPA

IPEN
INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR

CSN
CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Ciemat
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

SEPR
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA
Afiliada a la I.R.P.A

Protección Radiológica

Objetivos:

- ❑ Prevenir la aparición de efectos deterministas (No probabilísticos)
- ❑ Limitar la aparición de efectos estocásticos (probabilísticos)



Protección Radiológica (PR)

Principios Generales de PR:

- ❑ Justificación
- ❑ Optimización
- ❑ Limitación de dosis



Normas relativas a la PR se recogen en el Reglamento de Seguridad Radiológica [Decreto Supremo Nro. 009-97-EM]

Protección Radiológica (PR)

❑ Justificación

Introducir una práctica deberá justificarse mediante un análisis que asegure que el **beneficio individual o social** que resulte de la práctica **compense el detrimento de la salud** que esta pueda causar.



Daño total debido a los efectos biológicos que pueden aparecer después de una exposición, en condiciones bien definidas de la exposición y a un nivel de dosis determinado

BENEFICIO > RIESGO

Protección Radiológica (PR)

❑ Justificación

Introducir una práctica deberá justificarse mediante un análisis que asegure que el **beneficio individual o social** que resulte de la práctica **compense el detrimento de la salud** que esta pueda causar.

$$B = V – (P + X + Y)$$

B= Beneficio neto resultante de la actividad
V= Valor bruto = valor del producto + beneficios sociales (tangible+intangible)
P= Costes de producción
X= Costes en protección radiológica
Y= Costes para la sociedad del detrimento radiológico

Protección Radiológica (PR)

❑ Justificación

Introducir una práctica deberá justificarse mediante un análisis que asegure que el **beneficio individual o social** que resulte de la práctica **compense el detrimento de la salud** que esta pueda causar.

- ❖ Exposición Ocupacional (Trabajo): La exposición debe estar justificada
- ❖ Exposición Médica: El beneficio debe ser superior que el detrimento asociado a la dosis recibida.

Protección Radiológica (PR)

❑ Optimización

Mantener las dosis individuales, la probabilidad de exposición y el número de personas expuestas lo más bajos que sea razonablemente posible teniendo en cuenta factores económicos y sociales.

ALARA
As Low As Reasonably Achievable

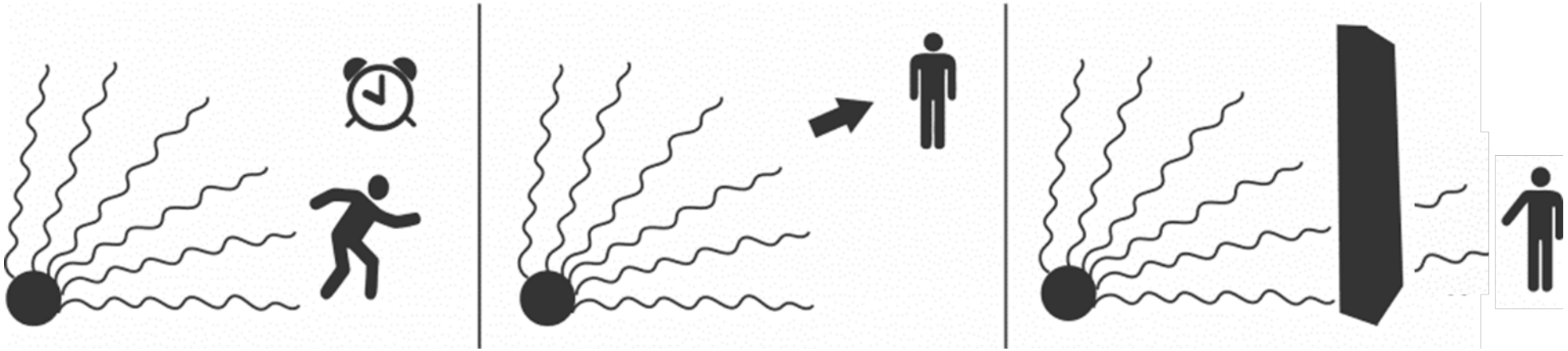
- Exposición Ocupacional: Reducir la dosis de los trabajadores durante toda su vida laboral
- Exposición Médica: Compatibilizar una calidad de imagen suficiente con la menor dosis posible

Necesario en el diseño y ejecución de toda operación justificable

Protección Radiológica (PR)

❑ Optimización

Factores de reducción de dosis

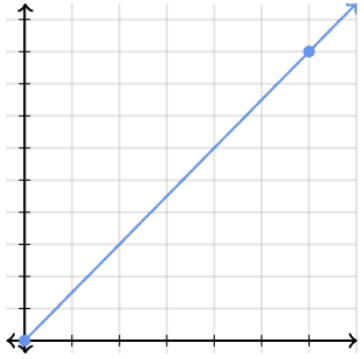


Tiempo **Distancia** **Blindaje**

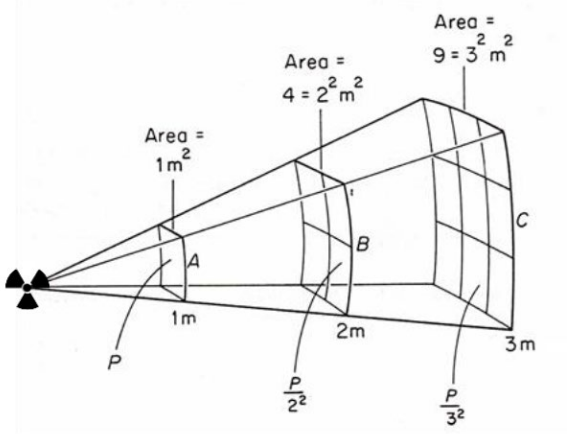
Protección Radiológica (PR)

❑ Optimización

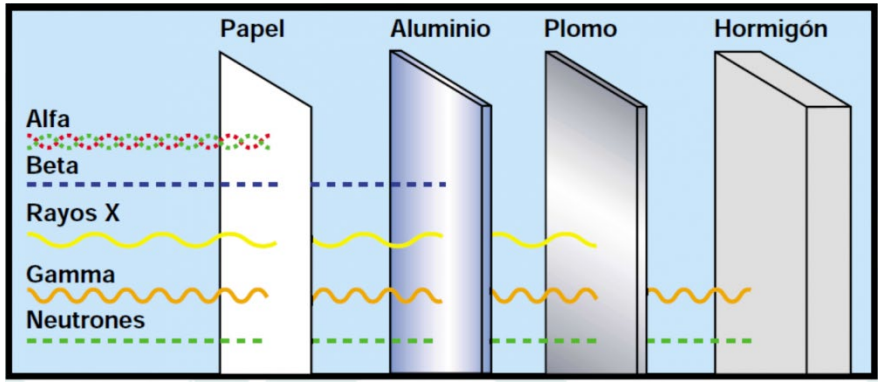
Factores de reducción de dosis



∝ **Tiempo**



∝ **1/Distancia²**



Blindaje

Protección Radiológica (PR)

❑ Limitación de dosis (ANEXO I)

La suma de las dosis recibidas (Ocupacional o Público) no superará los límites de dosis establecidos.

	Dosis Efectiva (mSv/año)	Dosis Eq. Cristalino (mSv/año)	Dosis Eq. Piel (mSv/año/cm^2)	Dosis Eq. Extremidades (mSv/año)
Trabajador expuesto	20*	150	500	500
Personas en Formación 16-17 años	6	50	150	150
Público	1	15	50	-

***** 100 mSv/5 años (Promedio 20 mSv/año); 50 mSv en 1 año, no superando los 100 mSv/5 años

No se incluye: fondo radiactivo natural ni exámenes o tratamientos médicos.

Protección Radiológica (PR)

❑ Limitación de dosis

❖ **Exposición Ocupacional embarazada**: Obligatorio informar al empleador

Superficie abdomen < 2 mSv durante el periodo del embarazo

Ingestión de radioisótopos < 1/20 Límite Anual de Incorporación establecido por la Autoridad Nacional

❖ **Menores a 16 años**: No se permite exposición ocupacional

Clasificación de áreas

- **Area Supervisada (Prob. > 1 mSv):**

Artículo 27. Toda instalación o lugar donde se utilicen fuentes de radiaciones debe establecer áreas supervisadas, siempre que no hayan sido definidas como áreas controladas y sea aplicable, que cumplan las siguientes condiciones:

a. Deben estar delimitadas por medios apropiados y señalizadas en los puntos de acceso, de acuerdo a lo indicado en el Anexo III.
b. Serán examinadas periódicamente para determinar la necesidad de implementar medidas protectoras y de seguridad, así como de la modificación de sus límites.

- **Area Controlada (Prob. > 6 mSv):**

Artículo 26. Toda instalación o lugar donde se utilicen fuentes de radiaciones debe establecer áreas controladas, cuya delimitación considere la magnitud de las exposiciones normales previstas, la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, y la naturaleza y alcance de los procedimientos de protección y seguridad requeridos. El área controlada debe cumplir con los siguientes requisitos genéricos, tanto como sean aplicables:

a. Debe estar delimitada por medios físicos o por otros medios adecuados, debe disponer de un sistema de control y alarma, y estará señalizada con un símbolo de advertencia reglamentario, según se indica en el Anexo III, u otro que sea aceptable por la Autoridad Nacional.
b. Debe disponer de medidas de protección y seguridad ocupacional incluidos procedimientos y reglas apropiados.
c. Tendrá acceso restringido mediante procedimientos administrativos.
d. Debe poseer y proveer de equipos y medios de protección individual a la entrada y salida.
e. Será revisada periódicamente con fines de mejorar las medidas de protección y las disposiciones de seguridad.

Clasificación de áreas: Señalización

ANEXO III: SEÑAL DE ADVERTENCIA PARA AREAS CONTROLADAS Y AREAS SUPERVISADAS

22 cm min.

29 cm min.





Protección Radiológica (PR)

- **Limitación de dosis**

Artículo 30. Los trabajadores que realicen su trabajo normal u ocasional en áreas controladas y puedan recibir exposición ocupacional significativa, deben estar sometidos a vigilancia radiológica individual obligatoria, mediante sistemas acreditados y en conformidad con las disposiciones específicas de la Autoridad Nacional.

Artículo 33. Los trabajadores sometidos a exposición ocupacional deberán ser sometidos a un programa de vigilancia médica basado en los principios de la salud ocupacional, para evaluar su aptitud inicial y permanente para las tareas asignadas. La vigilancia médica es una condición previa a la ocupación de tareas con radiaciones ionizantes.

Protección Radiológica (PR)

❑ Limitación de dosis

ANEXO IV

RADON EN VIVIENDAS Y PUESTOS DE TRABAJO

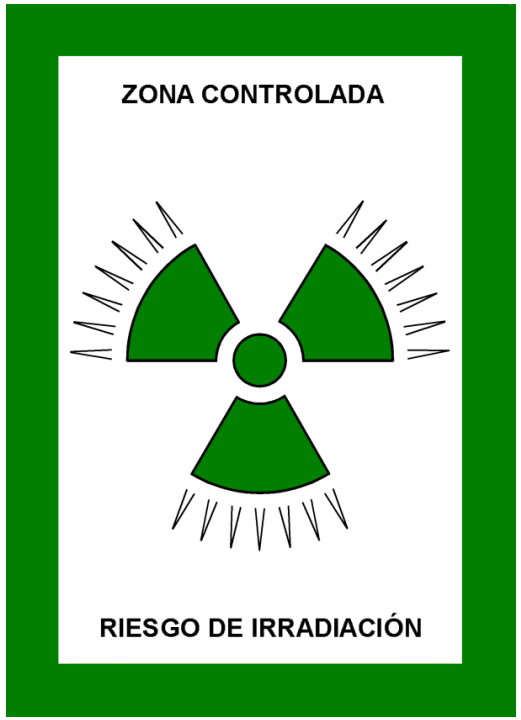
1. El nivel de actuación para la exposición crónica de radón en viviendas es una concentración media anual de 200 a 600 Bq/m^3 de Rn^{222} en el aire.

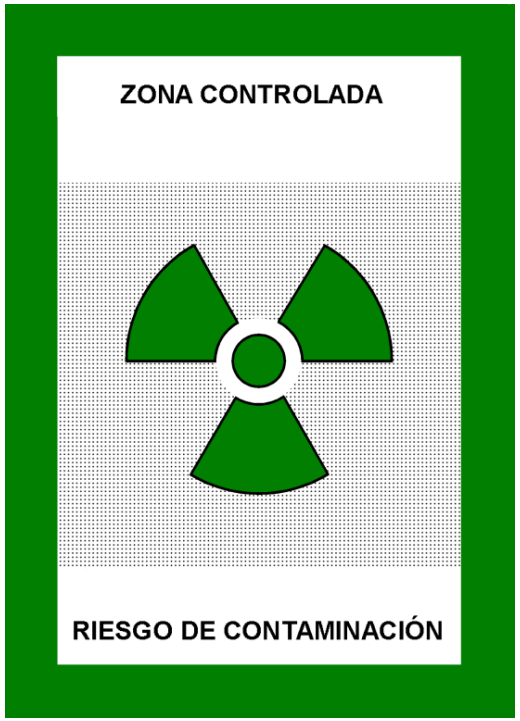
2. El nivel de actuación para una acción reparadora en la exposición crónica a radón en puestos de trabajo es una concentración media anual de 1000 Bq/m^3 de Rn^{222} en aire.

En el caso del radón, la energías potenciales convertidas de los límites principales son 14 mJ h m^{-3} para 20 mSv y 35 mJ h m^{-3} para 50 mSv.

Clasificación de áreas: Señalización España

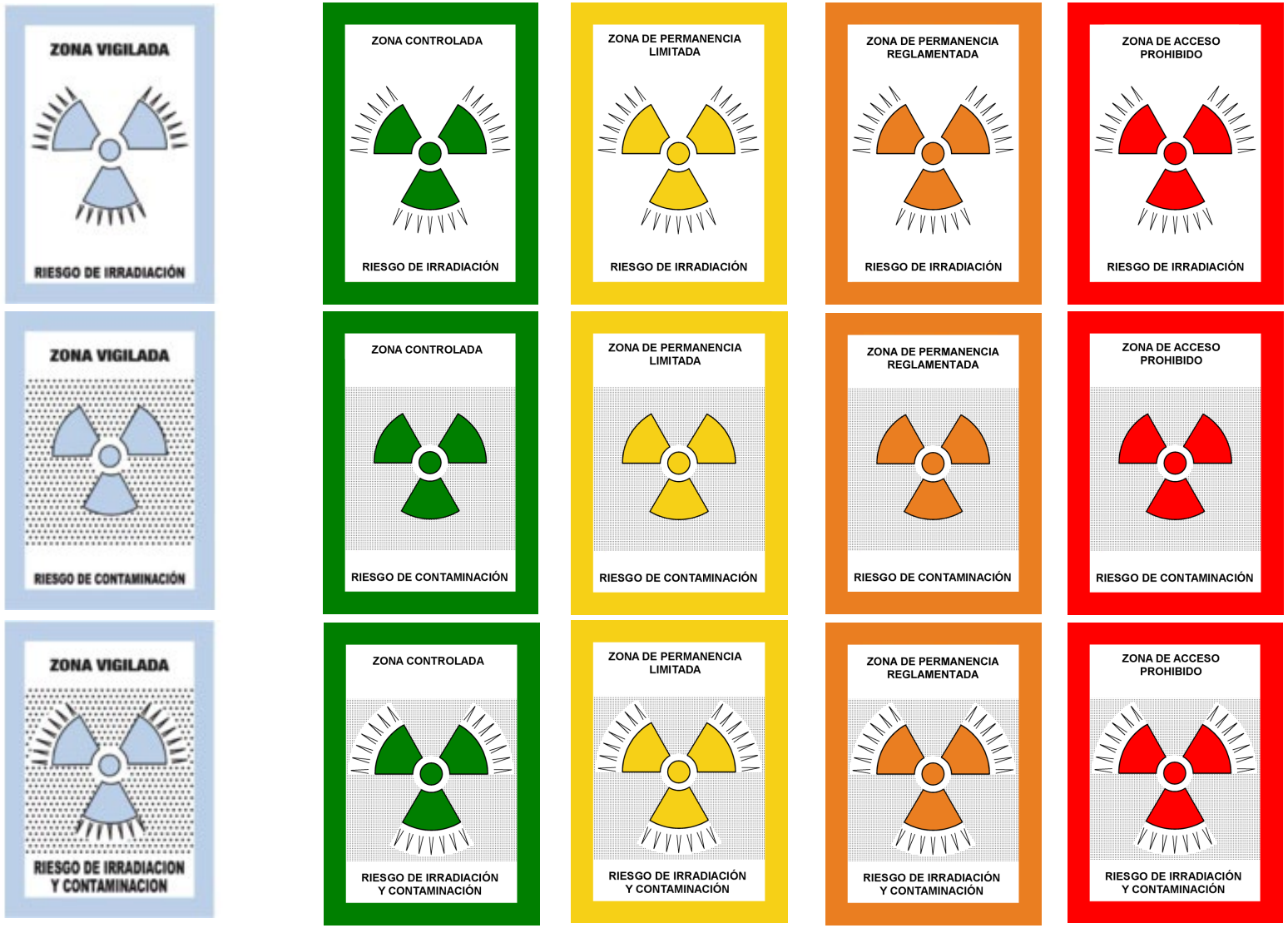
UNE 73302:2018







Clasificación de áreas: Señalización España



Clasificación de áreas: Señalización España

Clasificación como “zona de radón” (**UNE 73001:2023**) donde exista una concentración que pueda dar lugar a una dosis efectiva superior a 6mSv/año



Figura A – Señalización de zona de radón

Referencias

- Reglamento de Seguridad Radiológica [Decreto Supremo Nro. 009-97-EM]
- LEY N° 28028 LEY DE REGULACIÓN DEL USO DE FUENTES DE RADIACIÓN IONIZANTE
- Knoll, G. F. (2010). Radiation Detection and Measurement (4ª ed.). Wiley.
- Leo, W. R. (1994). Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. Springer.

Radiación Ambiental

Características de la Radiación Natural

Jorge Laguna
Administrador Ambiental
Oficina de Control de Radiación de Florida



Temas

- Fundamentos de Radiación
- Tipos de Radiación
- Unidades de Medidas
- Radiación en la vida diaria
- Desintegración Radiactiva
- Radón



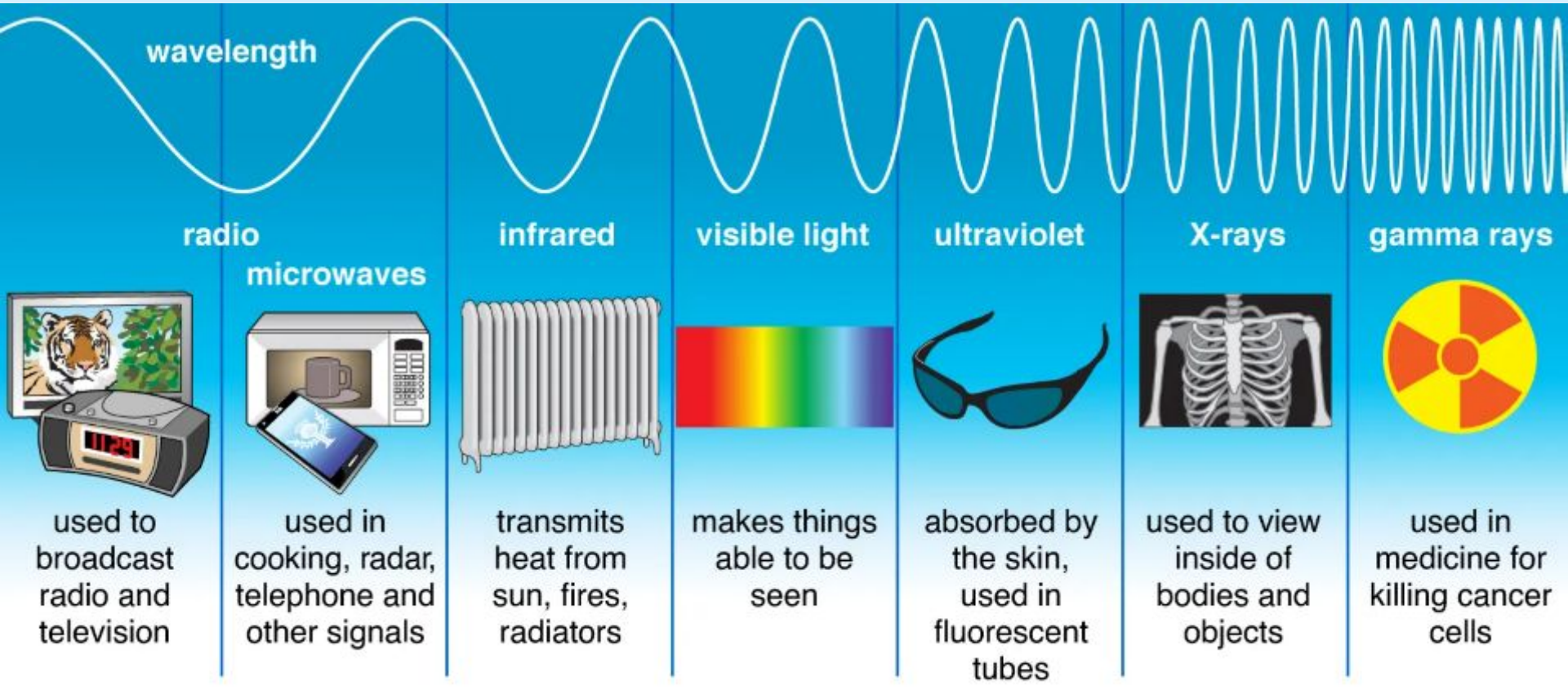
Radiación

- Mundo Radioactivo
- La emisión o transmisión de energía en forma de ondas o partículas a través del espacio o a través de un medio material
- Radiación Ionizante (**α**, **β** o **γ**)
  - Radiación de **Neutrones** (energía discreta por partícula)
  - No ionizante como el infrarrojo y microondas



Tipos de Radiación Electromagnética

Espectro electromagnético - energía radiante liberada por ciertos procesos electromagnéticos - rango de las frecuencias posibles de radiación electromagnética -
La **radiación ionizante** tiene energía que remueve electrones



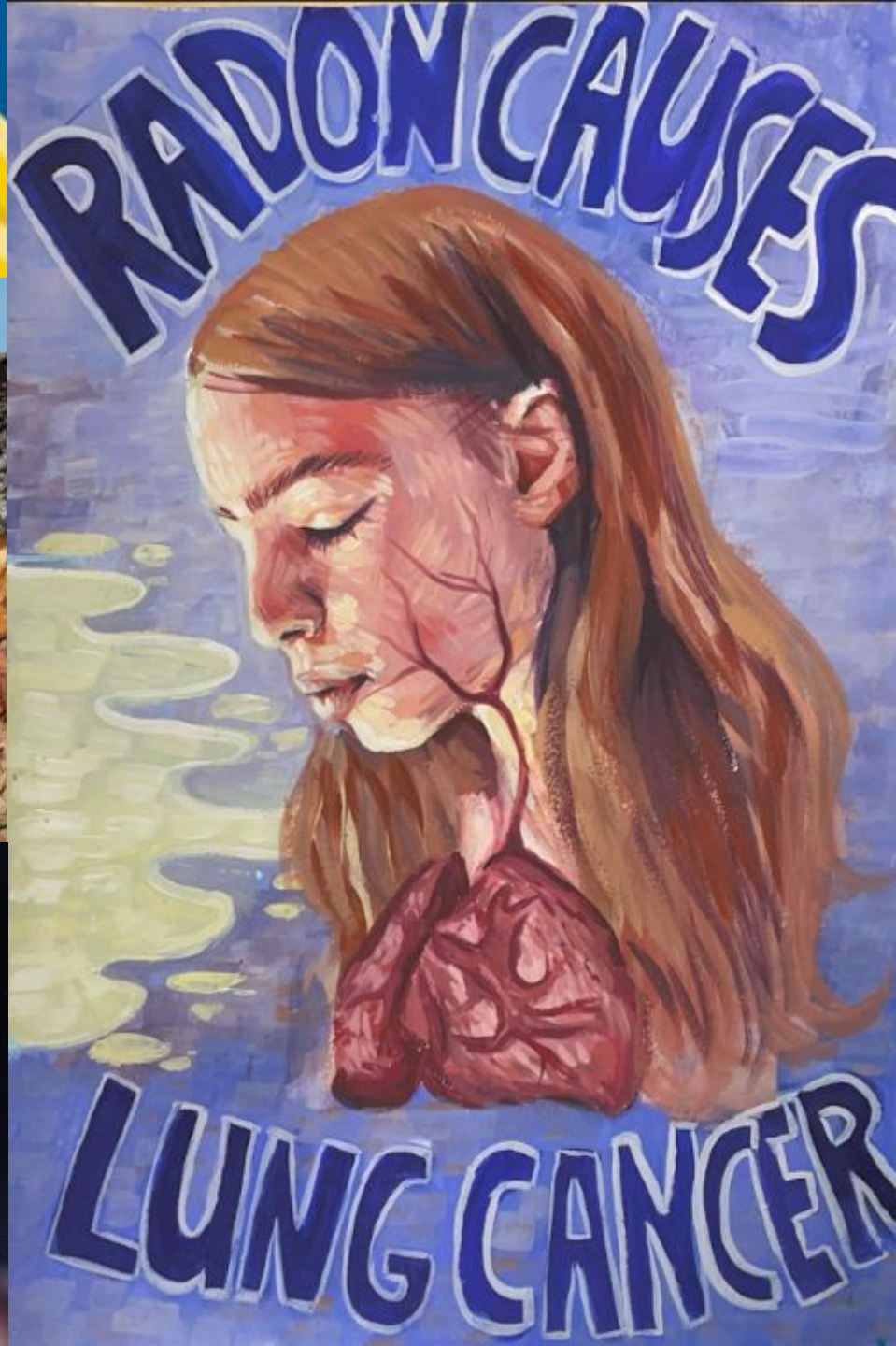
© Encyclopædia Britannica, Inc.





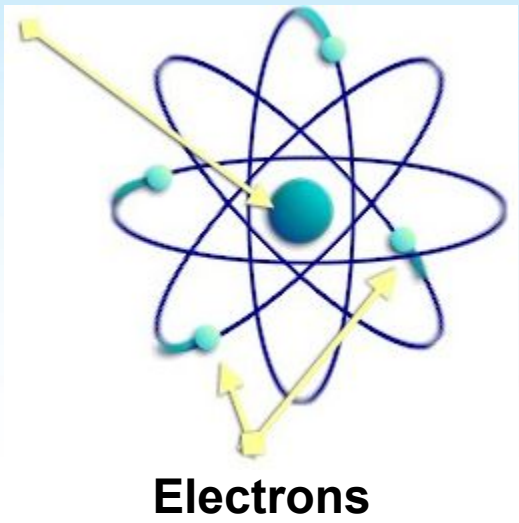
Radiación Natural





Átomos e Ionización

- El átomo es una pequeña unidad de masa
  - Consiste de un núcleo con carga positiva y uno o más electrones negativos (e-) arreglados en órbitas circulares o elípticas alrededor del núcleo
- La ionización es el proceso por el cual una porción cargada de una molécula (generalmente un electrón) recibe suficiente energía para separarse del átomo



http://www.epa.gov/radiation/understand/atom.html



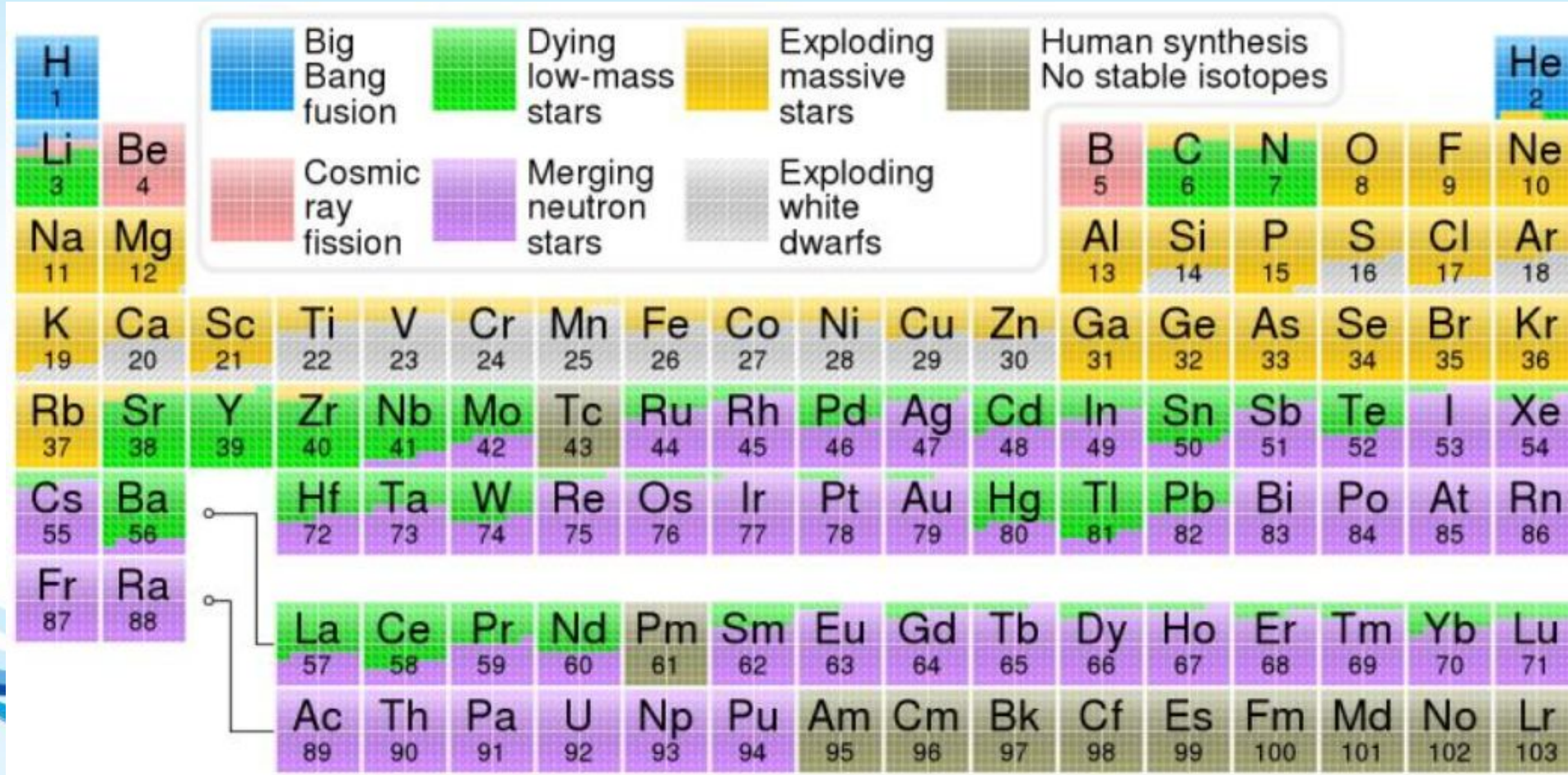
Material Radiactivo de Origen Natural

- Ha existido en suelos y rocas nativas desde que se formó la tierra
  - ejemplos de NORM terrestre incluyen elementos naturales como el radio, el uranio y el torio - omnipresentes
- Cantidades y concentraciones de NORM varían según los tipos de suelo/roca y la ubicación



Radionucleidos de origen natural

Primordiales	Secundarios	Cosmogénico



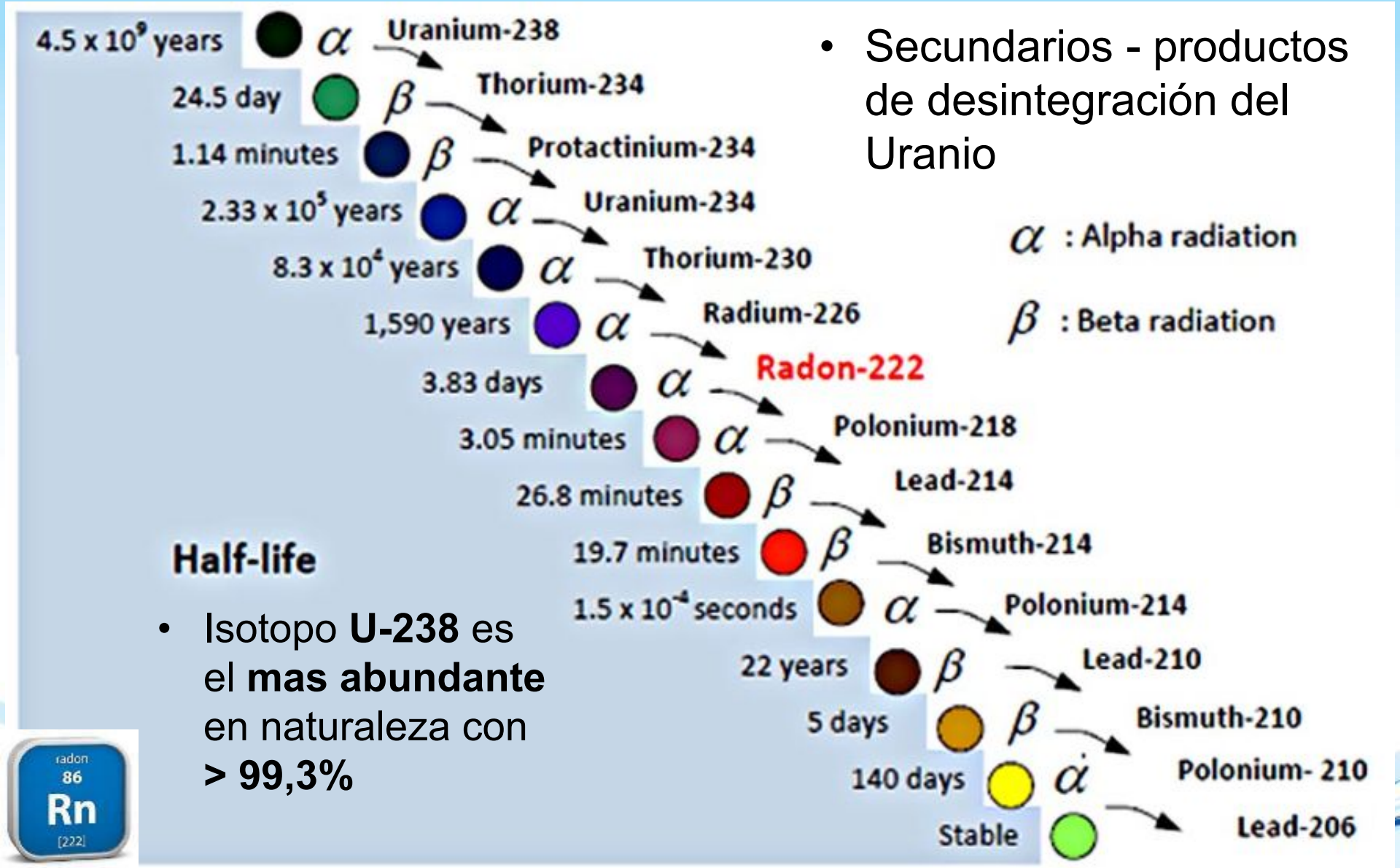
Radionucleidos de origen natural

- **Primordiales**
  - Creados miles de millones de años antes de la formación de la Tierra
  - Solo quedan aquellos con vidas medias muy largas (**U238, Th90, K40**)
- **Secundarios** son productos de desintegración de los primordiales. Principalmente
  - Torio **Th-232**, **U-235**,
  - Cadena de desintegración del uranio **U-234**
  - Productos de desintegración del radio son ligeramente solubles y se introducen en los edificios a través del agua (tubería)
- Cosmogénicos
  - Se forman **continuamente** en la atmósfera debido a la acción de los rayos cósmicos,
  - Tritio **H-3**, **C-14**





Radionucleidos de origen natural

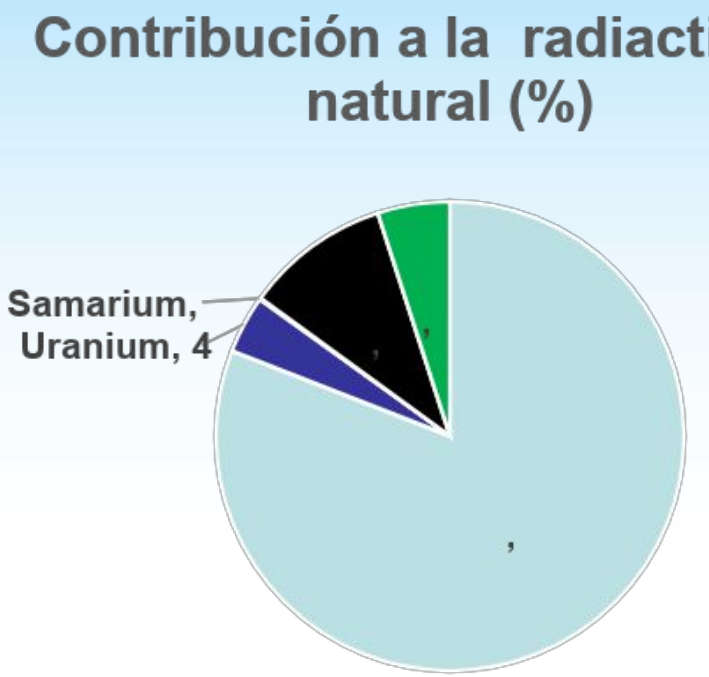


- Secundarios - productos de desintegración del Uranio

- Isotopo **U-238** es el **mas abundante** en naturaleza con **> 99,3%**

Radionucleidos de origen natural

- Contribuciones a la actividad de la corteza continental



  - Actividad dominada por K-40 seguido del rubidio, el torio y el uranio.
  - Potasio - elementos más abundantes en la corteza terrestre. Cuando se meteoriza, se moviliza fácilmente y se deposita en forma de evaporitas – fácilmente absorbido
  - El uranio y el torio están sujetos a movilización, transporte y redeposición - contribuyen al radón



Typical activity contribution in Bq – CRC Handbook of Chemistry and Physics, 85th Edition (2005)

Fuentes de Exposición a la Radiación

Dosis de radiación anual promedio por persona en Estados Unidos es de **6,25** milisieverts año.

50% Natural

U, Th, K40 (0.4 mSv), Rn222 and 220 (dosis alta 2 mSv) - 48% Medica

CT 24%

NRCP Report 160

Average Annual Radiation Dose

Sources	Radon & Thoron	Computed Tomography	Nuclear Medicine	Interventional Fluoroscopy	Space
Units					
mrem (United States)	228 mrem	147 mrem	77 mrem	43 mrem	33 mrem
mSv (International)	2.28 mSv	1.47 mSv	0.77 mSv	0.43 mSv	0.33 mSv

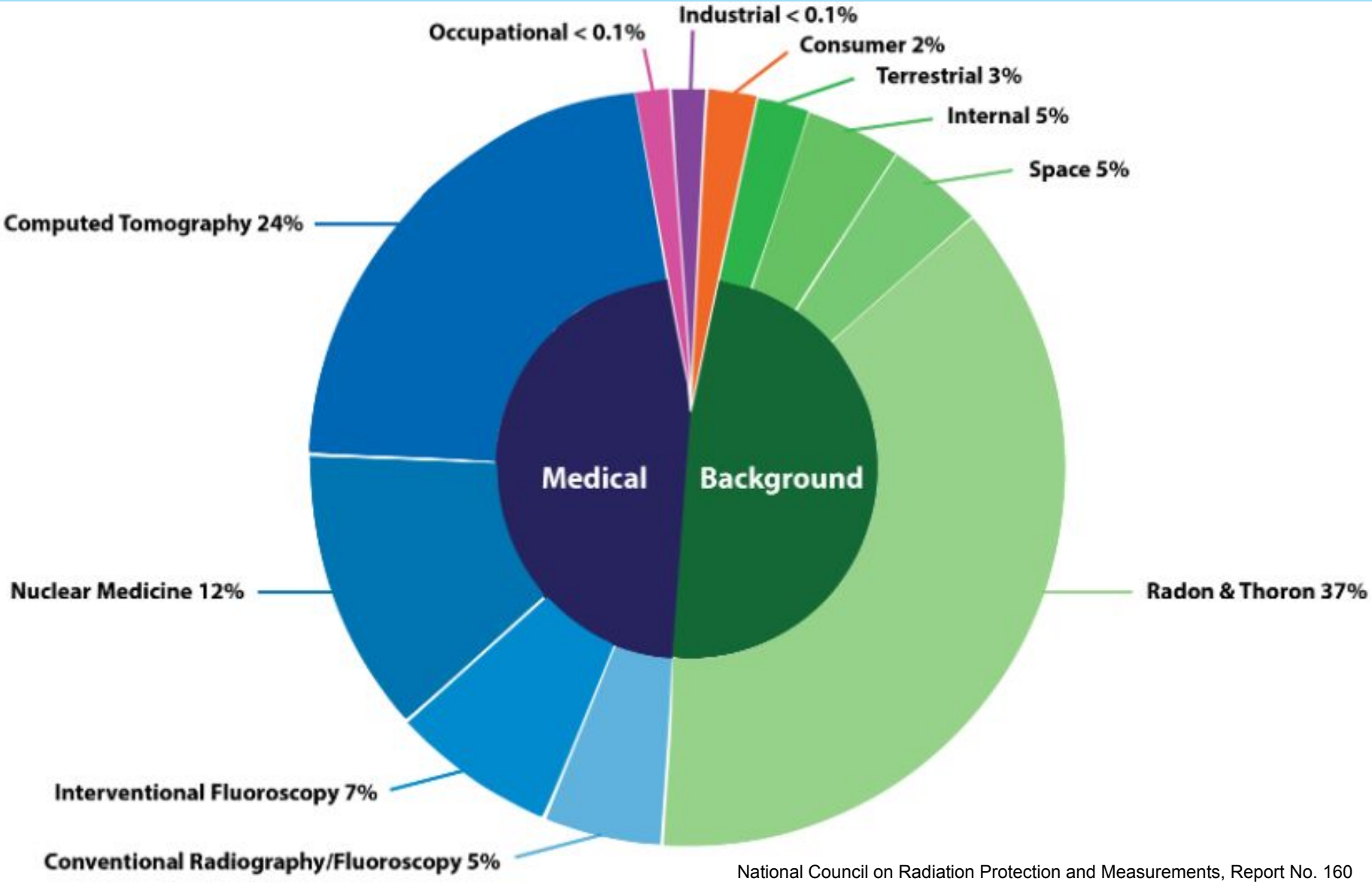
Conventional Radiography/ Fluoroscopy	Internal	Terrestrial	Consumer	Occupational	Industrial
33 mrem	29 mrem	21 mrem	13 mrem	0.5 mrem	0.3 mrem
0.33mSv	0.29 mSv	0.21 mSv	0.13 mSv	0.005 mSv	0.003 mSv

Average Annual Radiation Dose

Sources	Radon & Thoron	Computed Tomography	Nuclear Medicine	Interventional Fluoroscopy	Space	Conventional Radiography/ Fluoroscopy	Internal	Terrestrial	Consumer	Occupational	Industrial
Units											
mrem (United States)	228 mrem	147 mrem	77 mrem	43 mrem	33 mrem	33 mrem	29 mrem	21 mrem	13 mrem	0.5 mrem	0.3 mrem
mSv (International)	2.28 mSv	1.47 mSv	0.77 mSv	0.43 mSv	0.33 mSv	0.33mSv	0.29 mSv	0.21 mSv	0.13 mSv	0.005 mSv	0.003 mSv

(Source: National Council on Radiation Protection & Measurements, Report No. 160)

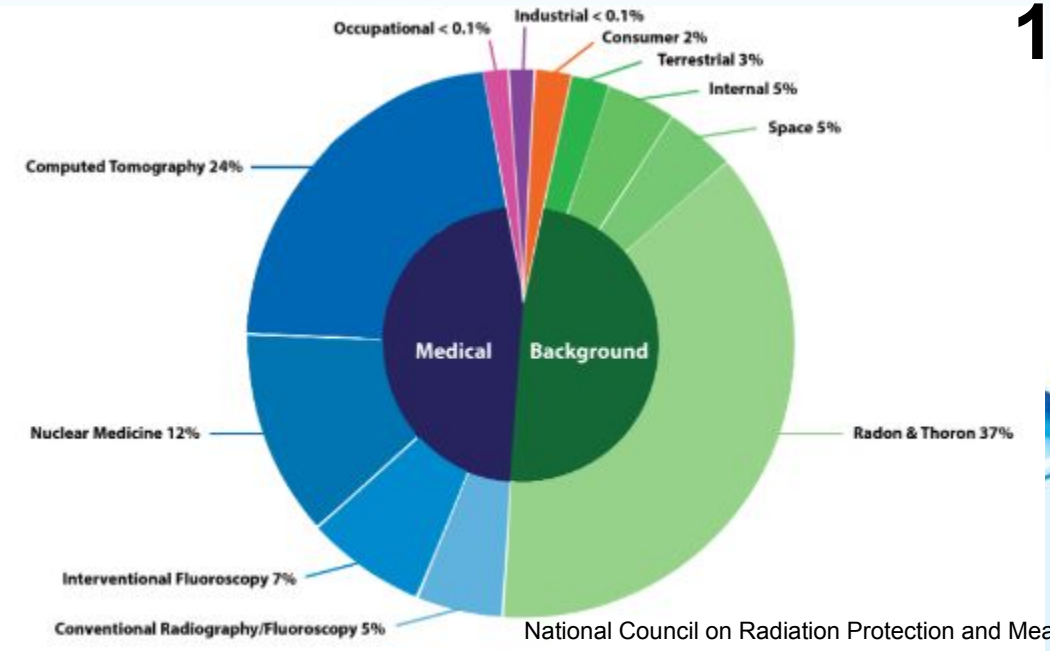
Fuentes de Exposición a la Radiación



National Council on Radiation Protection and Measurements, Report No. 160

Fuentes de Exposición a la Radiación

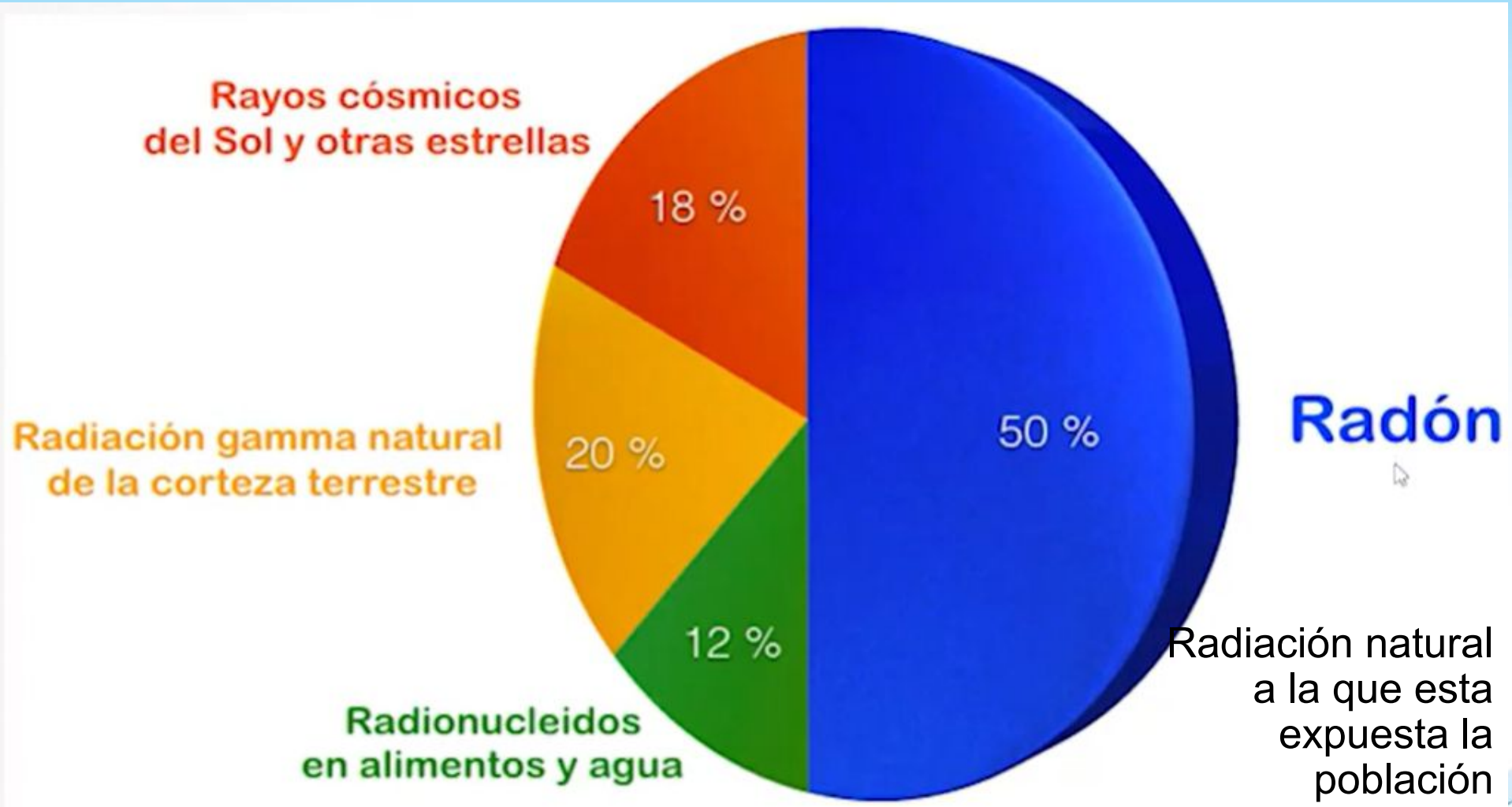
- De acuerdo al Promedio de dosis anual (**6.2** mSv) el Radón y sus hijos contribuyen **37%** (**2.3 mSv**) de radiación – basado en un promedio de Rn en casas de **50 Bq/m^3** (Consejo Nacional de Mediciones y Protección Radiológica (NCRP).



National Council on Radiation Protection and Measurements, Report No. 160

- Nivel de referencia es **148 Bq/m^3**
  - A este nivel Rn contribuye **63%** (**3.9 mSv**) de la dosis anual

Fuentes de Exposición a la Radiación



Radiación natural a la que esta expuesta la población mundial

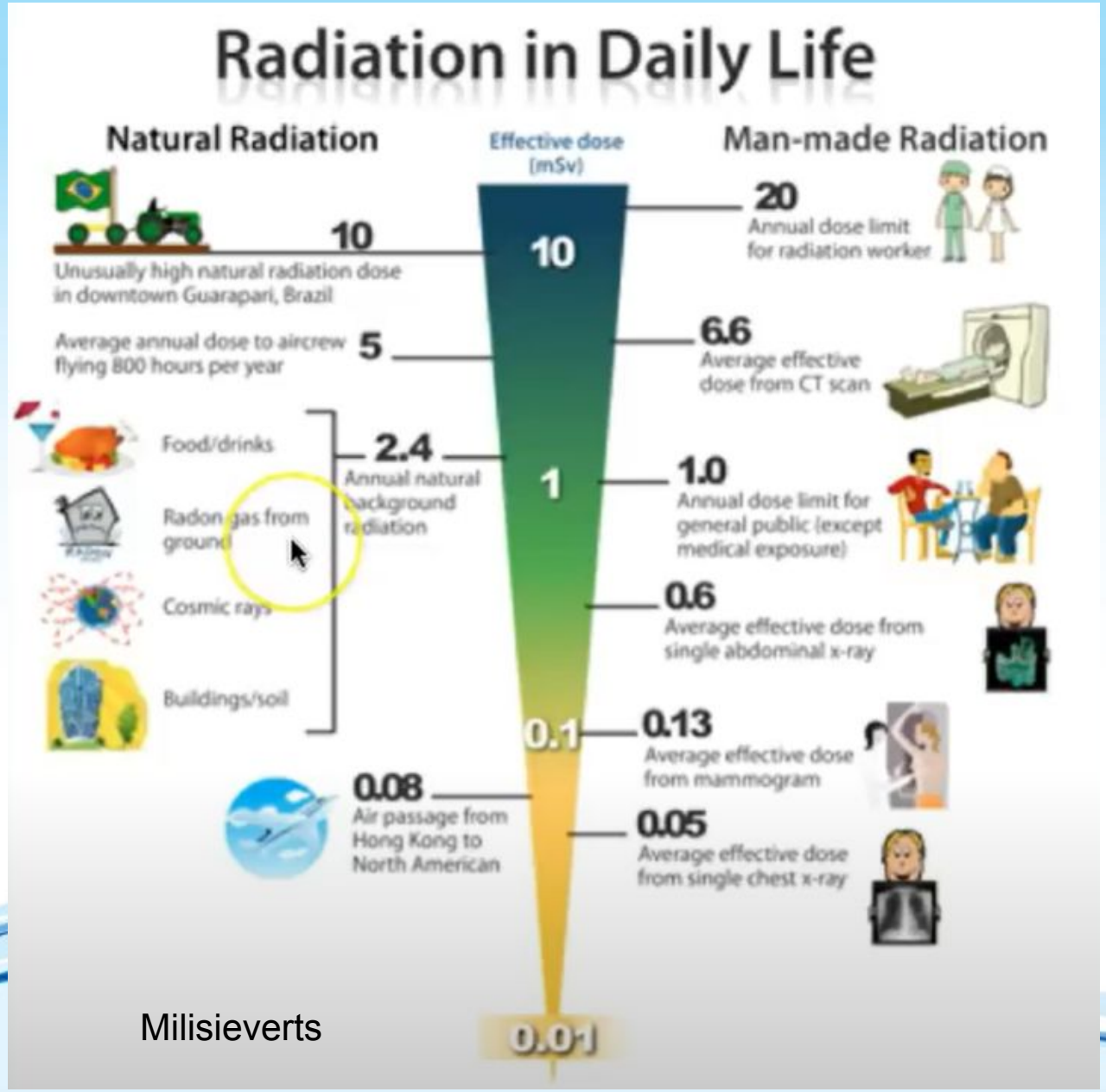
National Council on Radiation Protection and Measurements, Report No. 160

Radiación en la Vida Diaria

- Radiación de fondo:
  - Radiación cósmica
  - elementos radiactivos
  - sustancias radiactivas



Radiación en la Vida Diaria





Radiación en la Vida Diaria

- Radiación de fondo:
  - Representa más de la mitad de la radiación que recibe el público
    - Vuelo de 7 horas se recibe **0.05** mSv
    - **Piloto** puede recibir > 2 mSv/año
    - Recibimos 0,26 mSv/año de radionucleidos dentro del cuerpo (K40)
    - Recibimos 0,35 mSv/año de otros radionucleidos

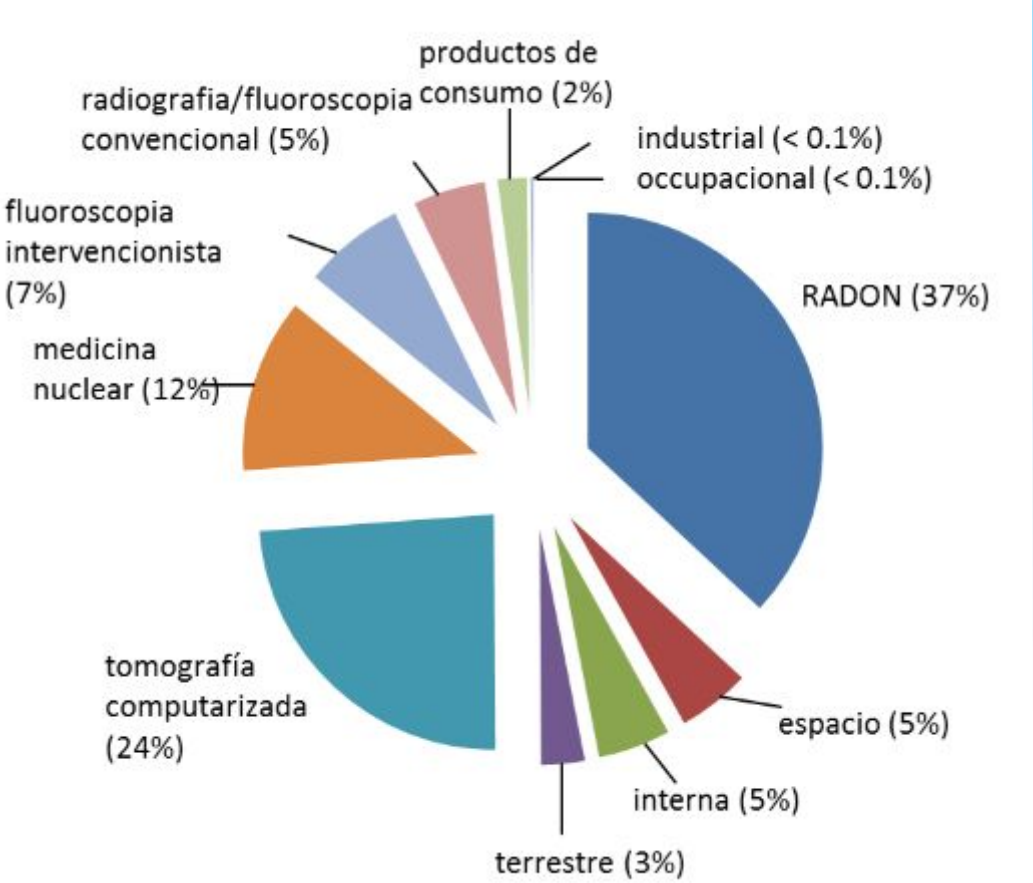


Radiación en la Vida Diaria

- Radiación de fondo:
  - Altitud
    - Cusco - **3,399 metros** sobre el nivel del mar - Dosis natural promedio de mas de **2,4** mSv/año
    - Tallahassee, Florida - 5 metros sobre el nivel del mar - Dosis promedio **~ 0,23 mSv/año**



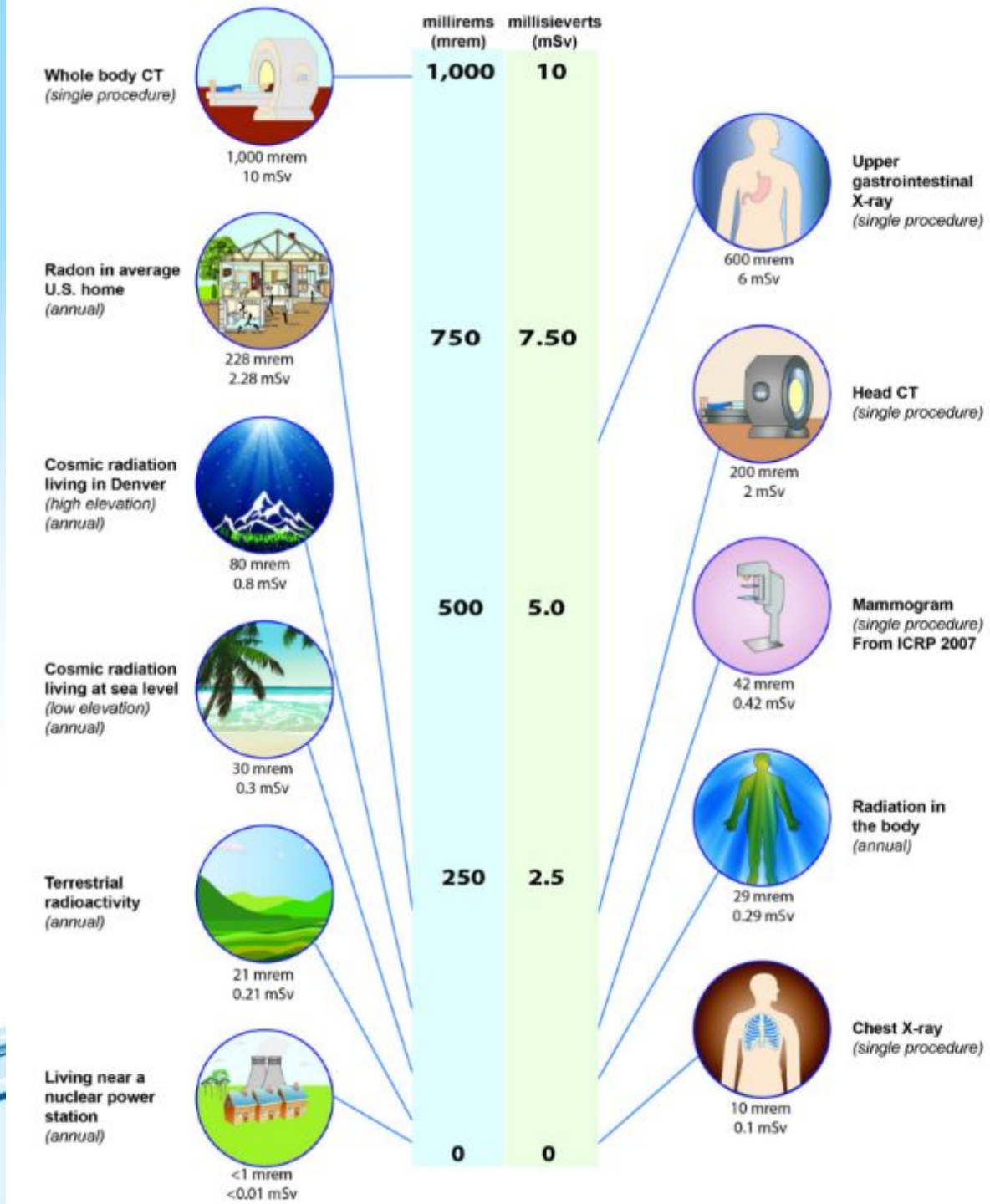
Radiación en la Vida Diaria



- Unidad de medida para la exposición a la radiación - Rem (Roentgen Equivalent Man – Culombios/kilogramo)
- Dosis de radiación anual promedio por persona es de 620 milirem (1,6 pCi/L – 59 Bq/m^3) – 6,2 milisieverts
- El radón es el mayor contribuyente a la dosis promedio de radiación (**37%**)

SOURCE: NCRP - http://www.ncrponline.org/

Dosis relativas de fuentes de radiación



¿Cuáles son las situaciones de radiación existentes?

- Vivimos en un mundo radiactivo
- Derivado de actividades pasadas (no sujeto a control)
- Permanecen despues de una emergencia







¿Cuáles son las situaciones de radiación existentes?

- Exposiciones a productos contaminados (alimentos, agua, materiales de construcción)





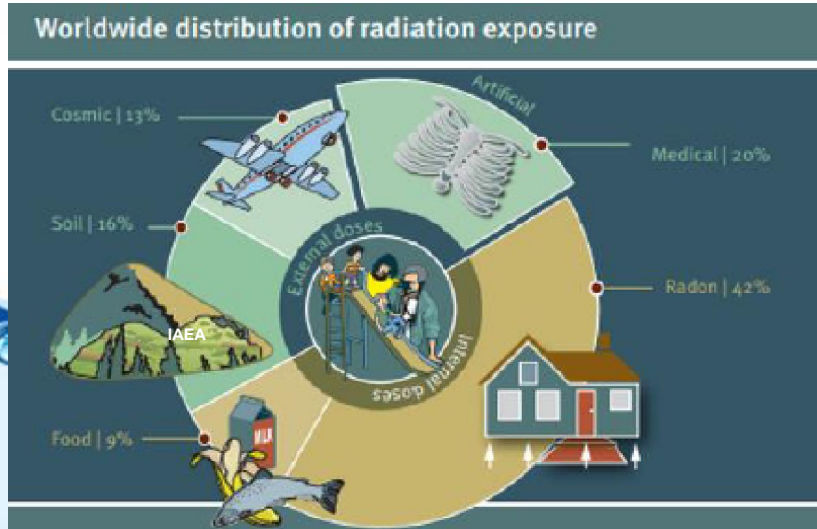


¿Cuáles son las situaciones de radiación existentes?

- Fuentes naturales: NORM, radón y rayos cósmicos - material radiactivo de origen natural
  - NORM no está regulado en los EE. UU. La Comisión Reguladora Nuclear (NRC) tiene jurisdicción sobre los materiales radiactivos, y la Agencia de Protección Ambiental tiene jurisdicción sobre NORM
  - Aproximadamente el **80%** de la exposición promedio a la **radiación** proviene de situaciones de exposición existentes







Material Radiactivo de Origen Natural

- Radiación de los productos de desintegración del **uranio** ocurre de forma natural en el mineral **fosfato**



- Se han construido miles de viviendas en tierras recuperadas de minas de fosfato (Rn)
- Encontraron altos niveles de radiación en más de 1/3 de viviendas analizadas por Rn en un desarrollo construido sobre tierras mineras recuperadas

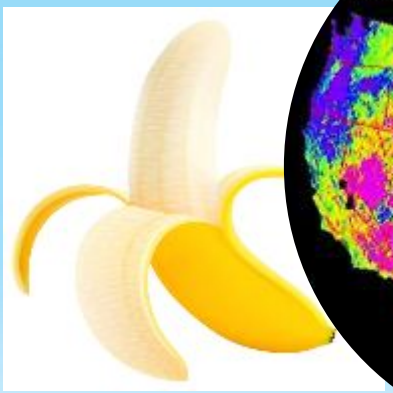
Material Radiactivo de Origen Natural

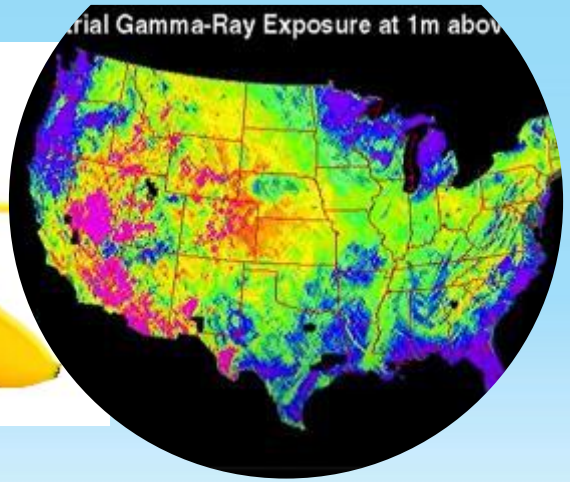
- Se debe enfocar en el radón para evaluar y determinar si existen preocupaciones de salud pública por la exposición a NORM



- Evaluando los niveles de exposición al radón en interiores es la forma más eficaz de abordar el riesgo potencial de radiación para la salud
- El nivel de acción recomendado (148 Bq/m3) ofrece el medio más eficaz para proteger la salud humana de NORM

Material radiactivo de origen natural



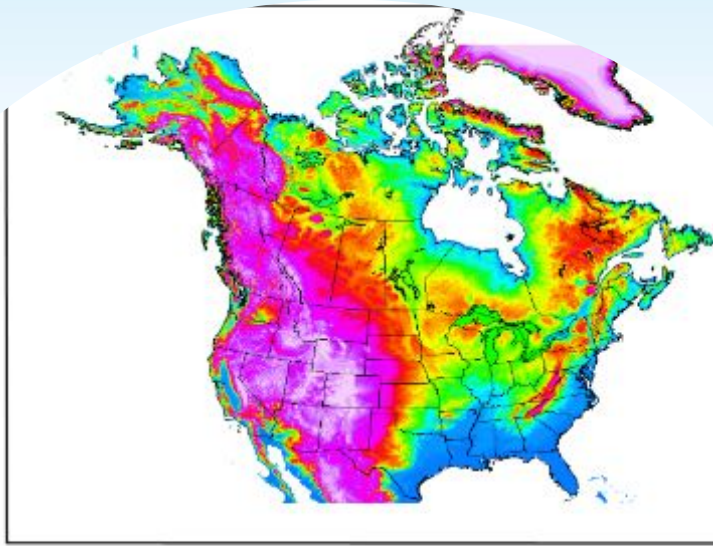


- NORM (Uranio/Radón)
  - Rayos gamma, alfa, beta
  - Nuestros cuerpos, alimentos (**2/3 de la dosis es K40**)
  - NORM no es regulado en EE. UU
- Rayos cósmicos
- Radiación creada por el hombre
  - Pruebas nucleares
  - Accidentes, medicina, etc



600 mSv
Career Limit





00 0 500 1500
(kilometers)
AD27/*DNAG

Cosmic-ray Exposure (nGy/hr)

https://pubs.usgs.gov/of/2005/1413/maps.htm

Dosis equivalente de banana (DEB)

- Medida informal - expresa dosis de radiación en términos de la cantidad que una persona recibiría al comer una banana o plátano
- DEB promedio ~ **0,1** microsieverts (μSv) por banana. Para contextualizar, una persona promedio recibe ~ 3000 μSv al año debido a la radiación natural de fondo (rayos cósmicos, **radón** y fuentes terrestres). Esto equivale ~ 20 000 a 30 000 bananas

Bananas are a natural source of radioactive isotopes.

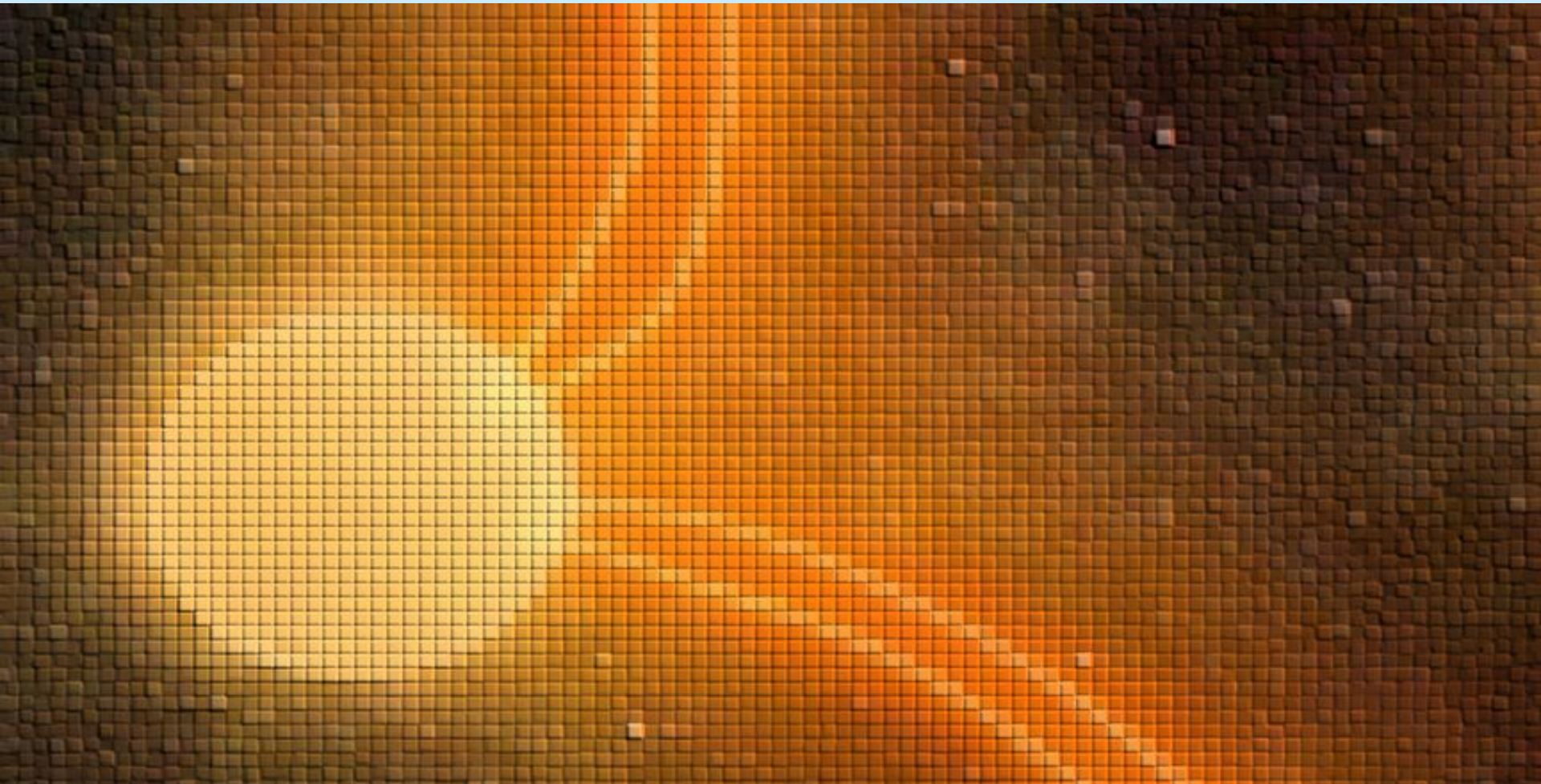
Eating one banana = 1 BED = 0.1 μSv = 0.01 mrem



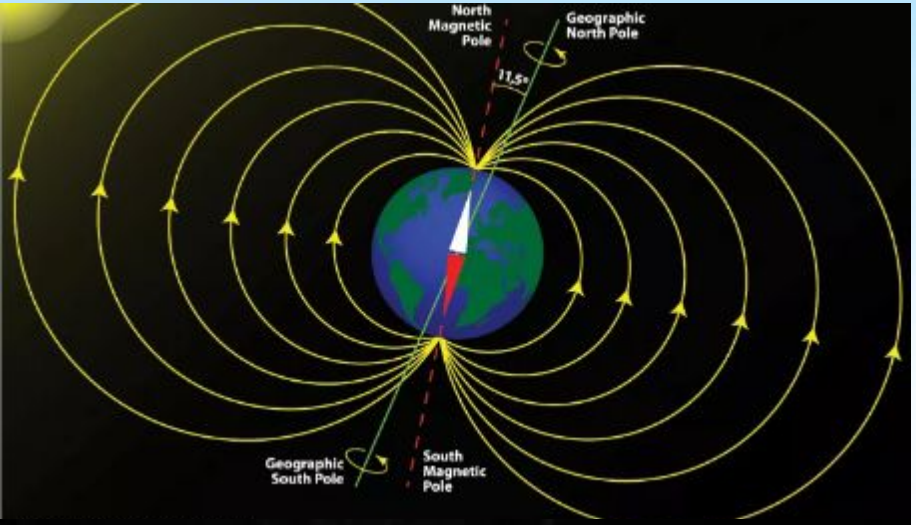
Number of bananas	Equivalent exposure
100,000,000	Fatal dose (death within 2 weeks)
20,000,000	Typical targeted dose used in radiotherapy (one session)
70,000	Chest CT scan
20,000	Mammogram (single exposure)
200 - 1000	Chest X-ray
700	Living in a stone, brick or concrete building for one year
400	Flight from London to New York
100	Average daily background dose
50	Dental X-ray
1 - 100	Yearly dose from living near a nuclear power station

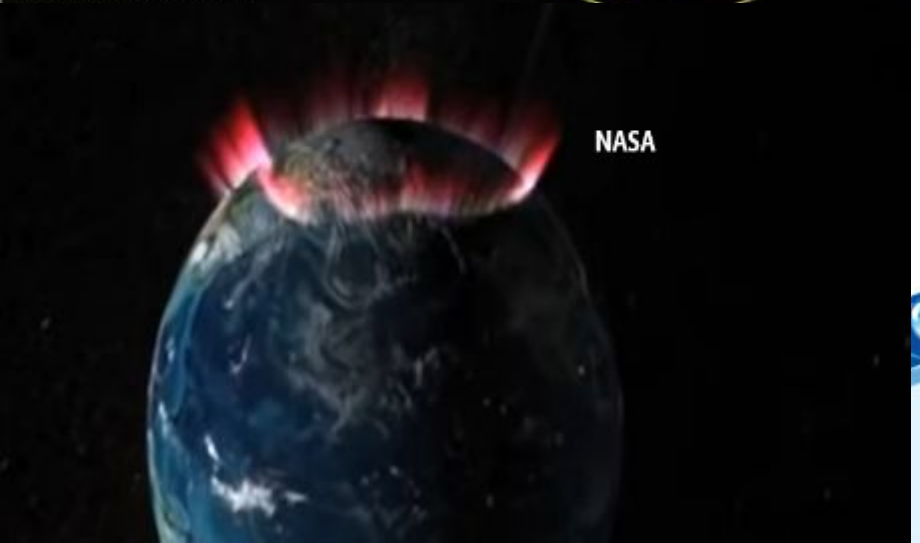
Radiación Cósmica

- Desde Cosmos -Planeta exterior - Planeta bombardeado constantemente - Principalmente del sol, las estrellas y las galaxias circundantes – contribuye a la radiación natural de fondo



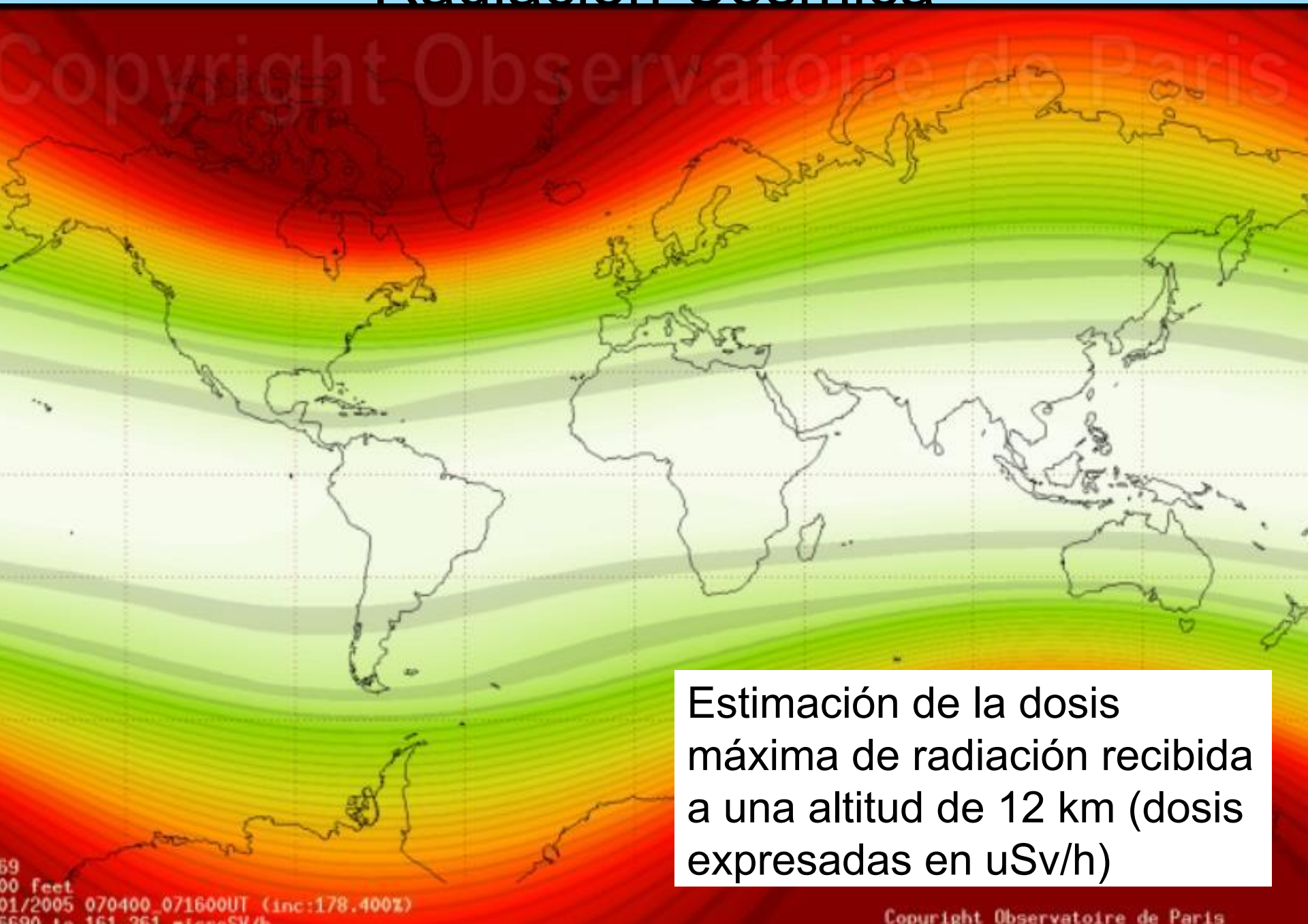
Radiación Cósmica





- La Tierra está protegida por el campo magnético y la atmósfera.
- Radiación desviada por el campo magnético hacia los polos.
  - **Aurora Boreal (N)**
  - **Aurora Austral (S)**
- Los niveles de radiación cósmica varían en diferentes partes del planeta: ionizante

Radiación Cósmica



Estimación de la dosis máxima de radiación recibida a una altitud de 12 km (dosis expresadas en uSv/h)

Radiación Cósmica

- La altitud y la latitud afectan la radiación.
  - Cuanto más alto y más cerca de los polos se vuele, mayor radiación
  - Cuanto más cerca estemos del ecuador, menor radiación



Un pasajero puede recibir entre 0,02 y 0,05 mSv en un vuelo.
Un trabajador expuesto a radiación puede recibir 1 mSv/año.
Dosis anual: 6,2 mSv/año

Radiación Cósmica



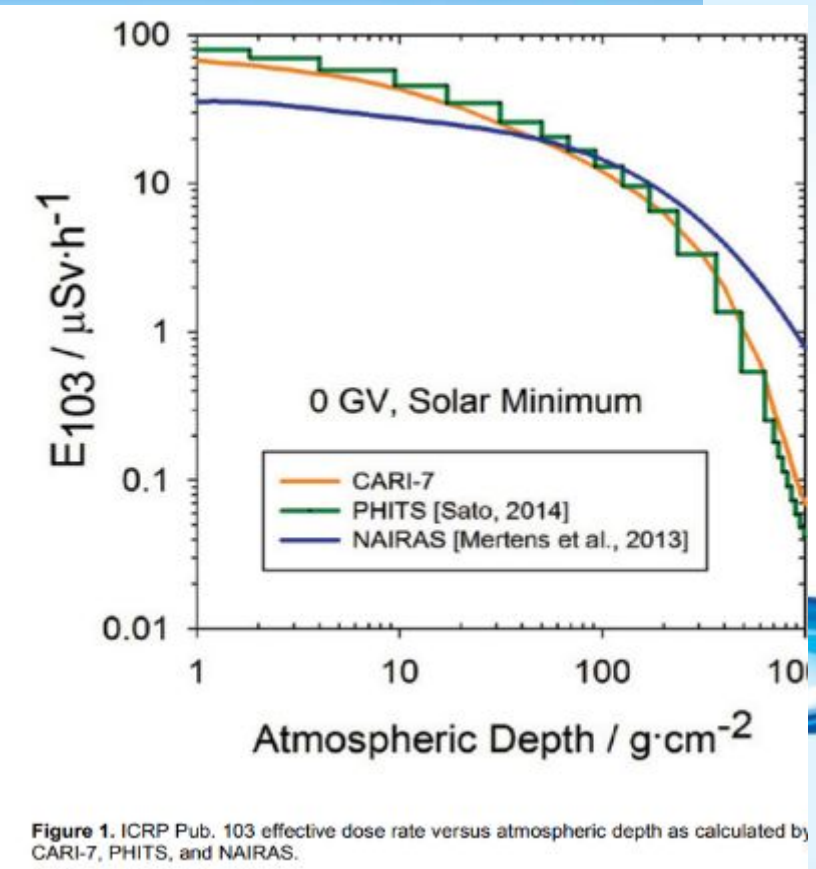


Figure 1. ICRP Pub. 103 effective dose rate versus atmospheric depth as calculated by CARI-7, PHITS, and NAIRAS.

- Límite de dosis efectiva para tripulaciones de aerolíneas: 6 mSv/año – Máximo promedio estándar de 5 años: 20 mSv/año
  - Dosis real: < 1 mSv/año; la mayoría vuelan por debajo de 39 000 pies. El riesgo aumenta con la altitud
- Medido con modelos informáticos
  - El Concorde voló > 39.000 pies y la radiación se registró físicamente
  - Al comparar las mediciones reales con los modelos, estas fueron precisas
- Puede aumentar el riesgo de cáncer de piel en los pilotos

https://www.faa.gov/

Radiación Ionizante

- Fuentes:
  - Radiación natural o de fondo
  - Artificial





Radiación Ionizante

- La radiación es **energía** que se propaga en forma de **ondas** o **partículas**
- Puede tener suficiente energía para **expulsar electrones de los átomos** creando **iones** (átomos con carga eléctrica)
- Radiación ionizante puede, directa o indirectamente, expulsar electrones de la mayoría de las moléculas



Radiación Ionizante

- Átomos con demasiados o pocos neutrones contienen un exceso de energía y no son estables, emitiendo energía en forma de radiación ionizante
- La ionización es la conversión de un átomo en un ion mediante la eliminación de una partícula cargada



Radiación Ionizante

- Tipos de radiación ionizante:
  - Alfa
  - Beta
  - Fotones de Gamma y Rayos-X



Radiación Ionizante

- Ionización, puede matar o dañar las células vivas y el ADN, lo que puede llevar a problemas de salud graves como el cáncer o el síndrome de radiación aguda (enfermedad por radiación)
- Cuando nos exponemos a la radiación, los beneficios deben ser mayores que los riesgos



Unidades de Medida de Radiación

- Se puede medir en cuatro aspectos
  - Radioactividad
  - Intensidad de exposición
  - Absorción de radiación
  - Dosis de absorción en relación a los efectos sobre la salud



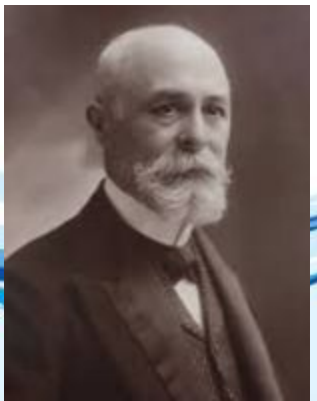
Unidades de Medida de Radiación

- Béquerelios * (Bq) - Actividad
- Culombios/kilogramo (C/Kg) - Exposición
- Grays (Gy) - Dosis absorbida de radiación
- Sievert (Sv) - Dosis equivalente



Unidades de Medida de Radiación

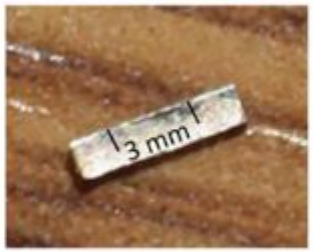
- Radiactividad es la cantidad de radiación ionizante liberada por un material
- Béquerelios * (Bq) - Curios -
  - Mide la cantidad de **actividad** que emite un radionúclido
  - 1 Ci = 3.7 x 10^{10} Bq (37 billones dps)
  - Un Béquerelio es definido como una desintegración por segundo (27 pCi)

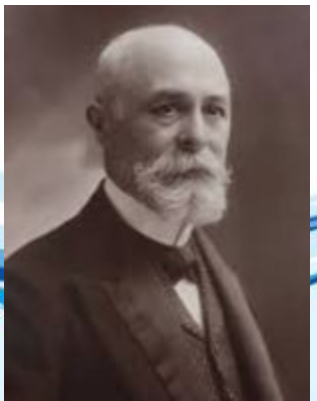




Unidades de Medida de Radiación

- Actividad y cantidad - ¿cuánto es 1 curio?

U-235	Ra-226	Co-60
$T_{1/2} = 7.04 \times 10^9$ y	$T_{1/2}$ 1604 y	$T_{1/2}$ 5.26 y
		
~ 500 kg =	~1 g =	~1 mg =
3.7×10^{10} Bq (1 Ci)	**3.7×10^{10} Bq (1 Ci)**	**3.7×10^{10} Bq (1 Ci)**





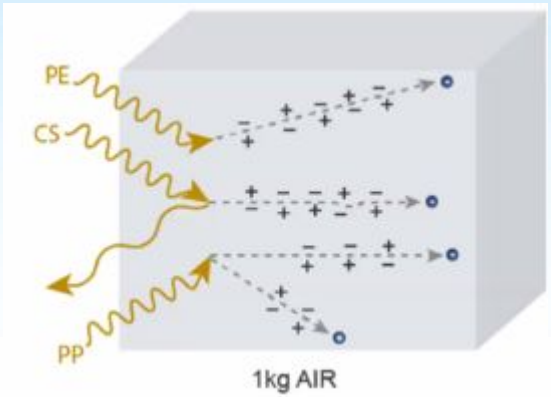
Unidades de Medida de Radiación

- **Exposición** - cantidad de radiación que viaja a través del aire
- Roentgen - Culombios/kilogramo (C/Kg) – Exposición
  - Radiación ionizante que produce en **1 cm^3** de aire iones que transportan una **unidad electrostática** de electricidad **positiva** o **negativa**
  - La cantidad de rayos **X** o radiación **γ** que produce una unidad de carga electrostática en **1 cm^3** de aire seco a temperatura y presión estándar

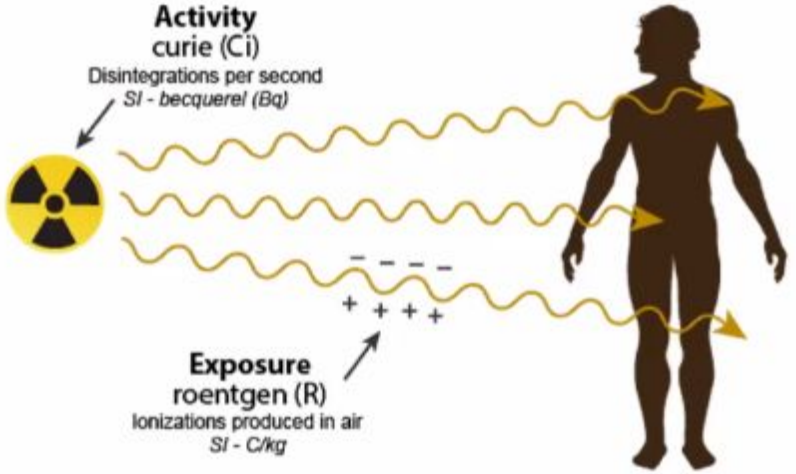


Unidades de Medida de Radiación

Roentgen - Culombios/kilogramo (C/Kg) – **Exposición** refleja la intensidad de los fotones (gamma o rayos X) y la duración de la exposición



- **Roentgen (R)**: traditional unit of exposure
  - 1 R = 2.58 × 10^{-4} C/kg air
- In SI system, exposure is not given a special name
  - Measured in C/kg



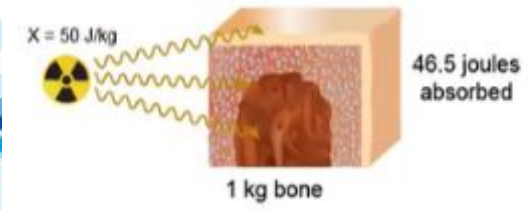
Unidades de Medida de Radiación

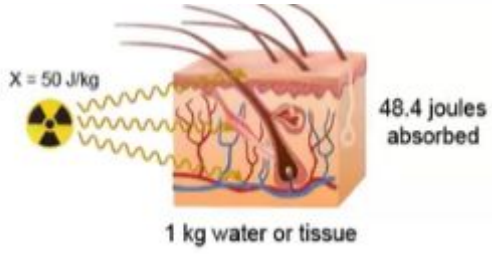
- Grays (Gy) - **Dosis Absorbida** de radiación
  - Cantidad de radiación de cualquier tipo absorbida por un medio
  - Mide los efectos de la radiación
  - Dosis recibida por el paciente
  - 1 Gy = 100 rad

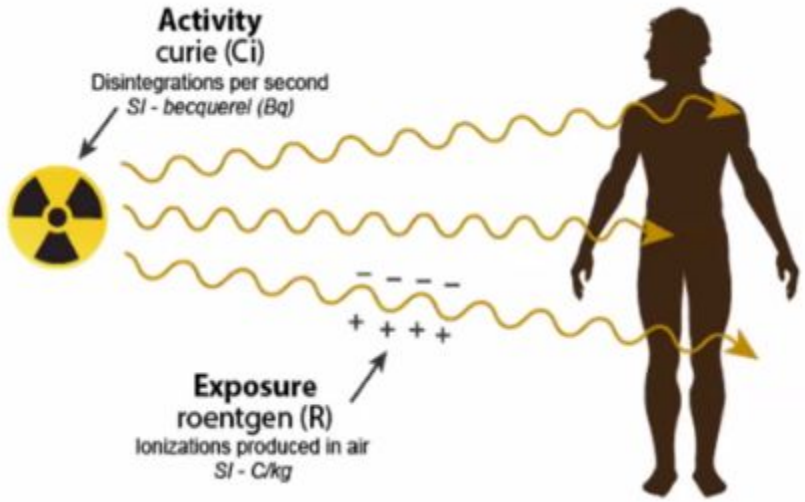


Unidades de Medida de Radiación

- Grays (Gy) - Dosis Absorbida: está asociada con la energía de radiación (E) absorbida en una masa dada (m) de material
- Regla general, 1 Roentgen de Exposición – produce 0.1 Gy (o 1 Rad) de dosis absorbida

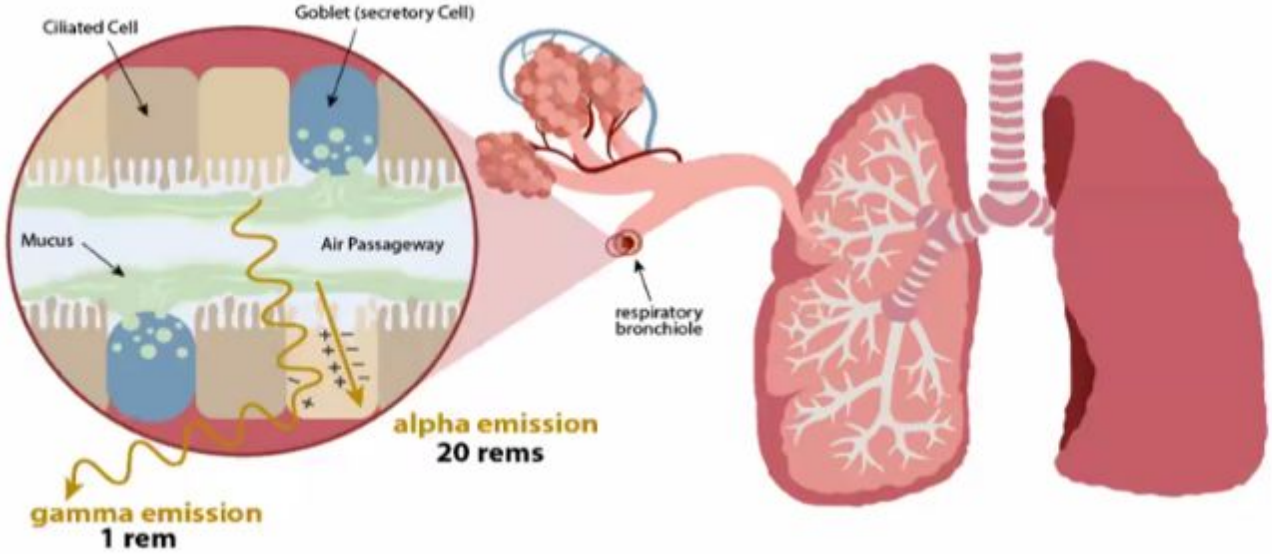






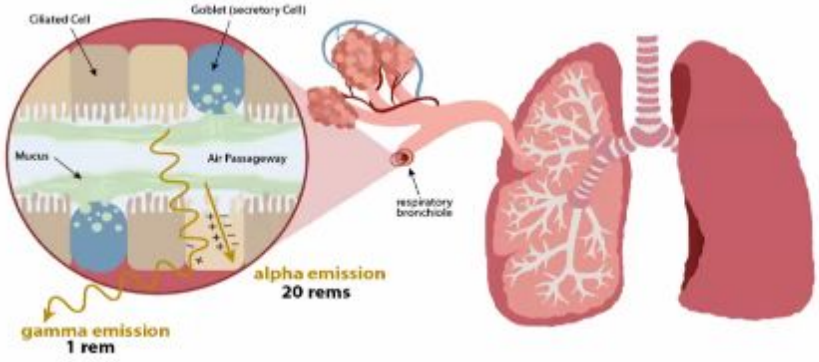
Unidades de Medida de Radiación

- Rem – Sievert – **Dosis Equivalente**
  - Mide el efecto biológico de la radiación alfa, beta, gamma y rayos X absorbidos
  - Radiación que provoca cambios dentro del cuerpo
  - Dosis equivalente de un Rad Alfa (Rn) es 20 veces mayor que un Rad de radiación Gamma y Beta



Unidades de Medida de Radiación

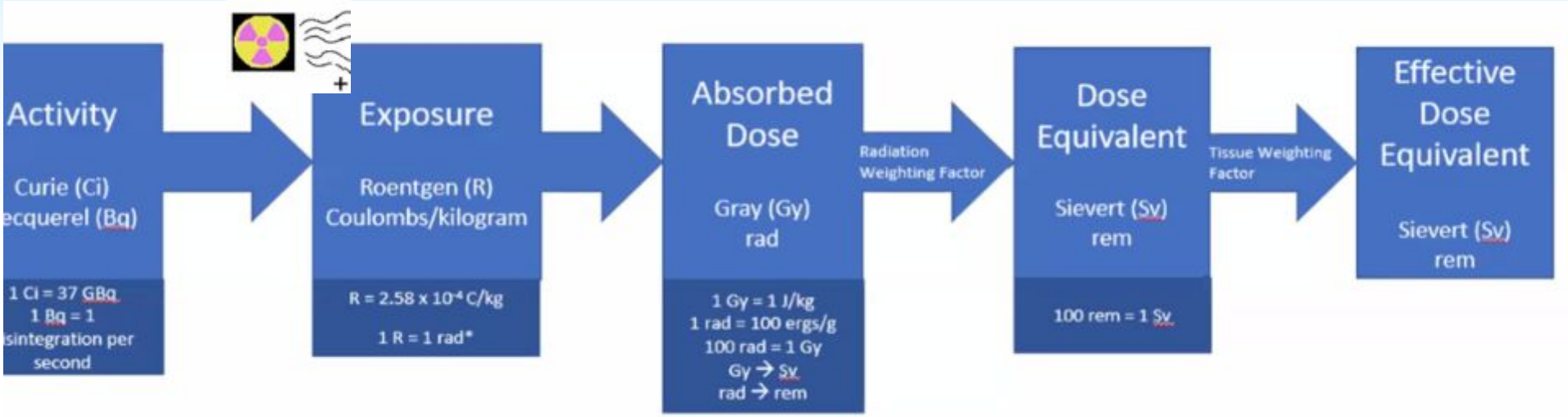
- Rem – Sievert – **Dosis Equivalente**
  - La **dosis equivalente** combina la cantidad de radiación absorbida y los efectos médicos a cada **órgano -** La **dosis efectiva** se aplica a todo el cuerpo
  - El Factor de Weighting /factor de calidad tiene en cuenta el daño biológico del tipo de radiación
  - 1 Sv = 100 rem



Tipo	Factor Weighting
Alfa	20
Beta	1
Gamma-X	1
Neutron	5-20

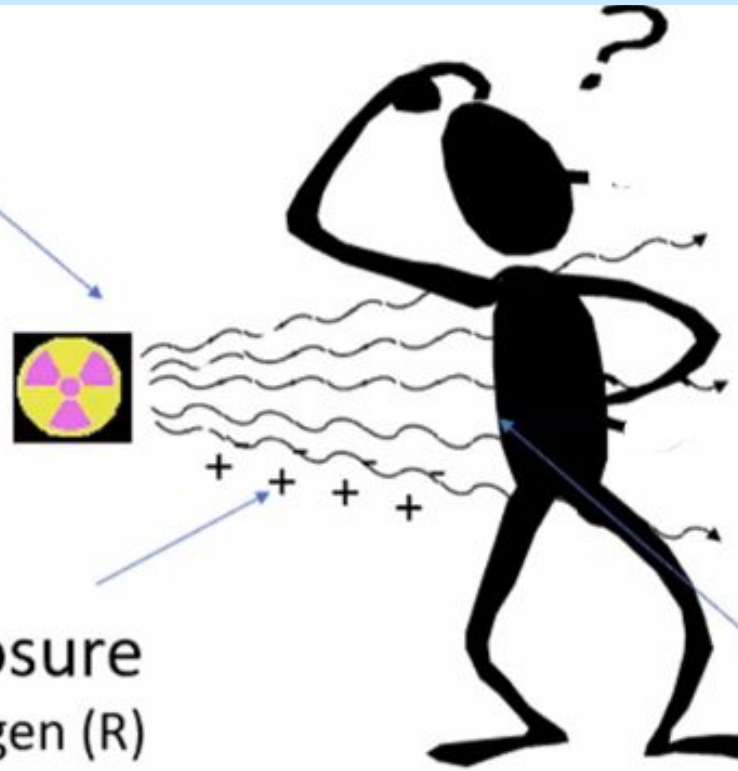
Unidades de Medida de Radiación

- Conversión de unidades





Unidades de Medida de Radiación



Activity
curie (Ci);
becquerel (Bq)
Decay rate

Exposure
roentgen (R)
Ionizations (charge) produced in air

Dose equivalent
rem; sievert (Sv)
Measure of biological damage

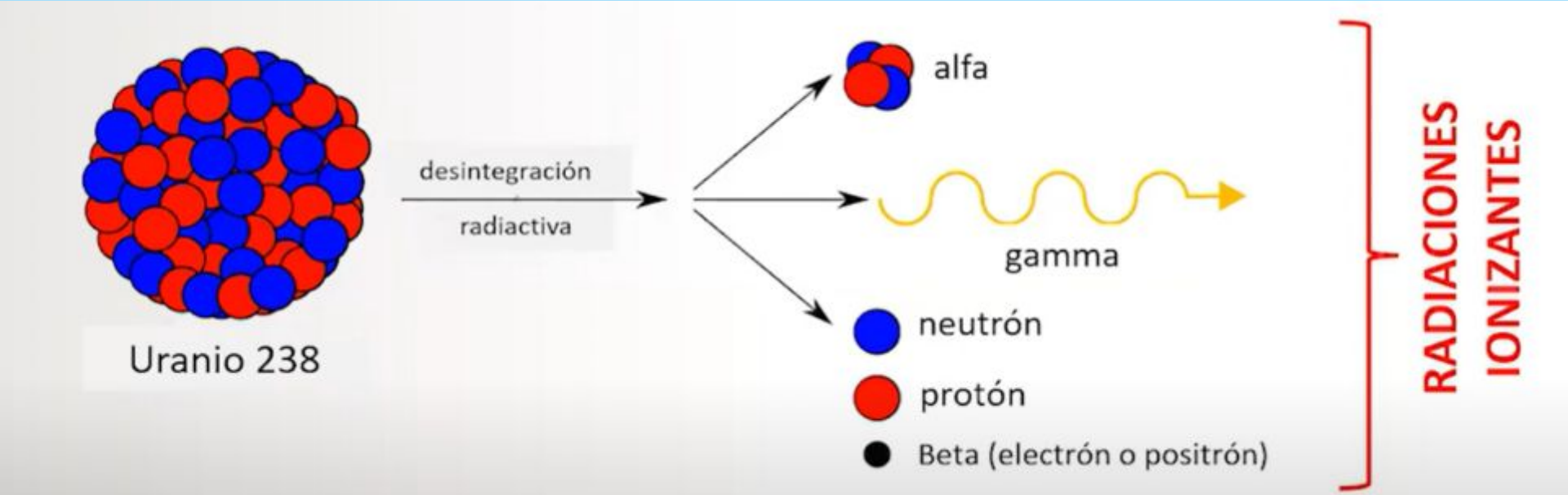
Absorbed dose
rad; gray (Gy)
Energy deposition in matter

Unidades de Medida de Radiación

- Límites de dosis - **público** general era 5 mSv por año (los1960s), fue reducida a **1 mSv por año**
- Esta implementación condujo al control recomendado de niveles de radón en los hogares en la década de 1980

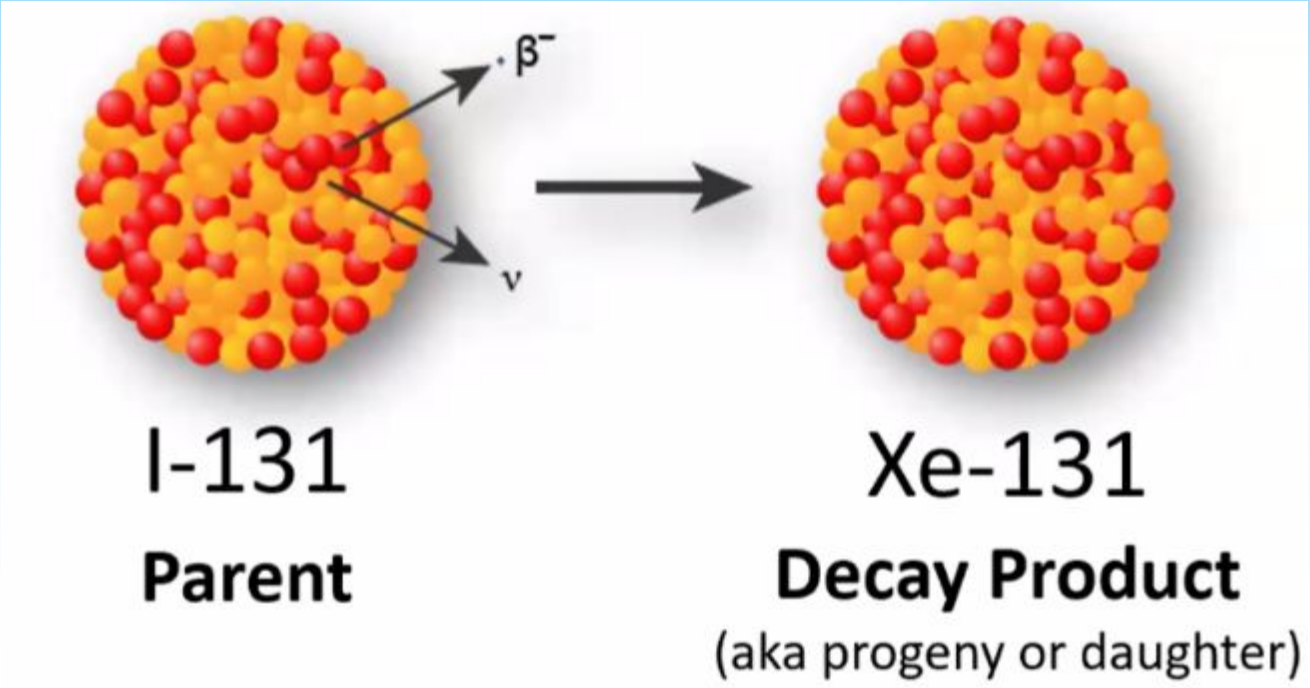


Desintegración Radiactiva



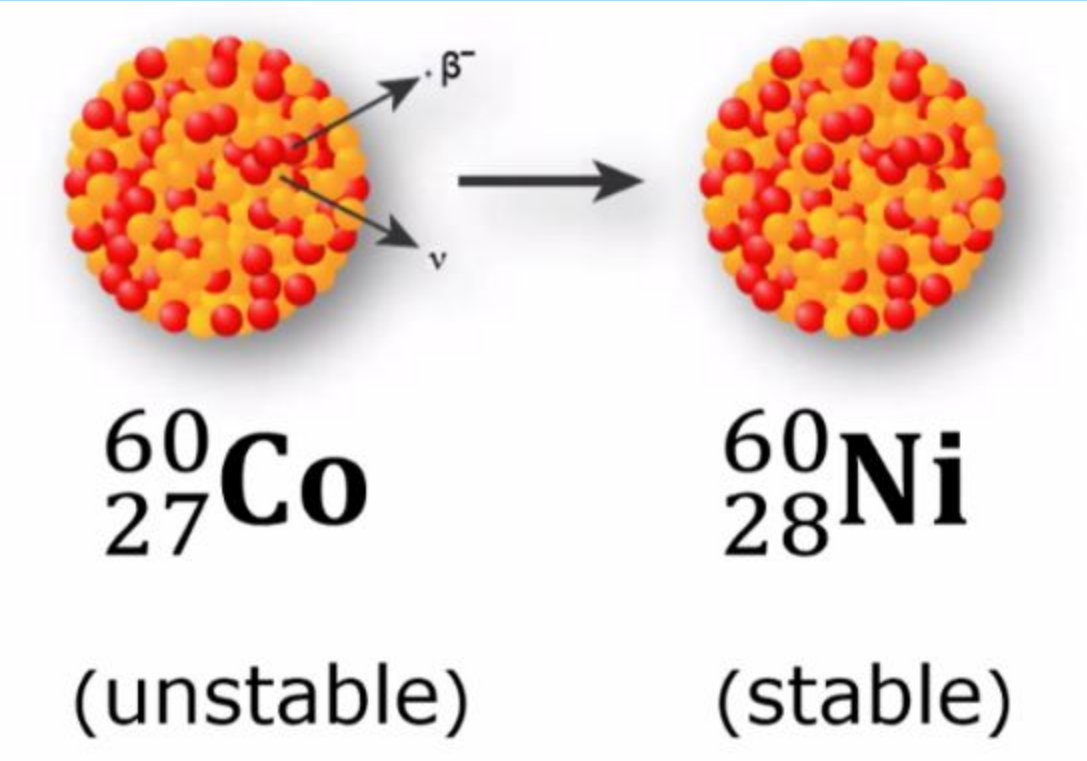
Radiactividad es una propiedad por lo cual algunos elementos se desintegran para dar lugar a nuevos atomos, emitiendo al mismo tiempo radiaciones y partículas ionizantes cuales pueden crear iones cuanto interaccionan con la materia

Desintegración Radiactiva



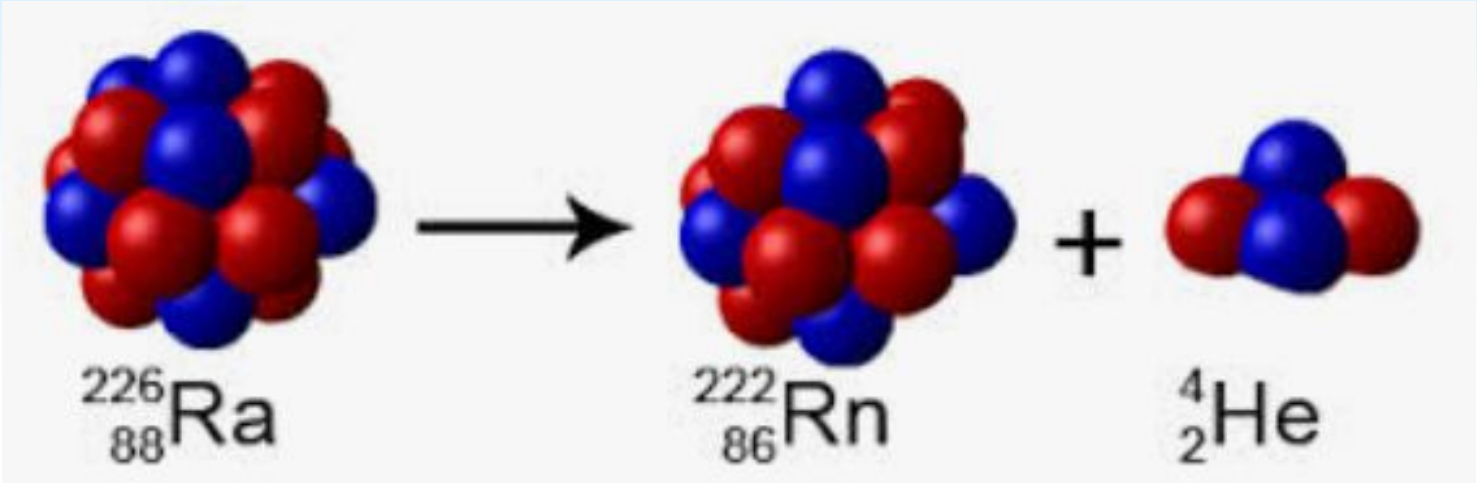
Proceso espontáneo por el cual una combinación inestable de neutrones y protones se transforma en un núcleo más estable produciendo partículas Alfa, Beta o Gamma - Progenie

Desintegración Radiactiva



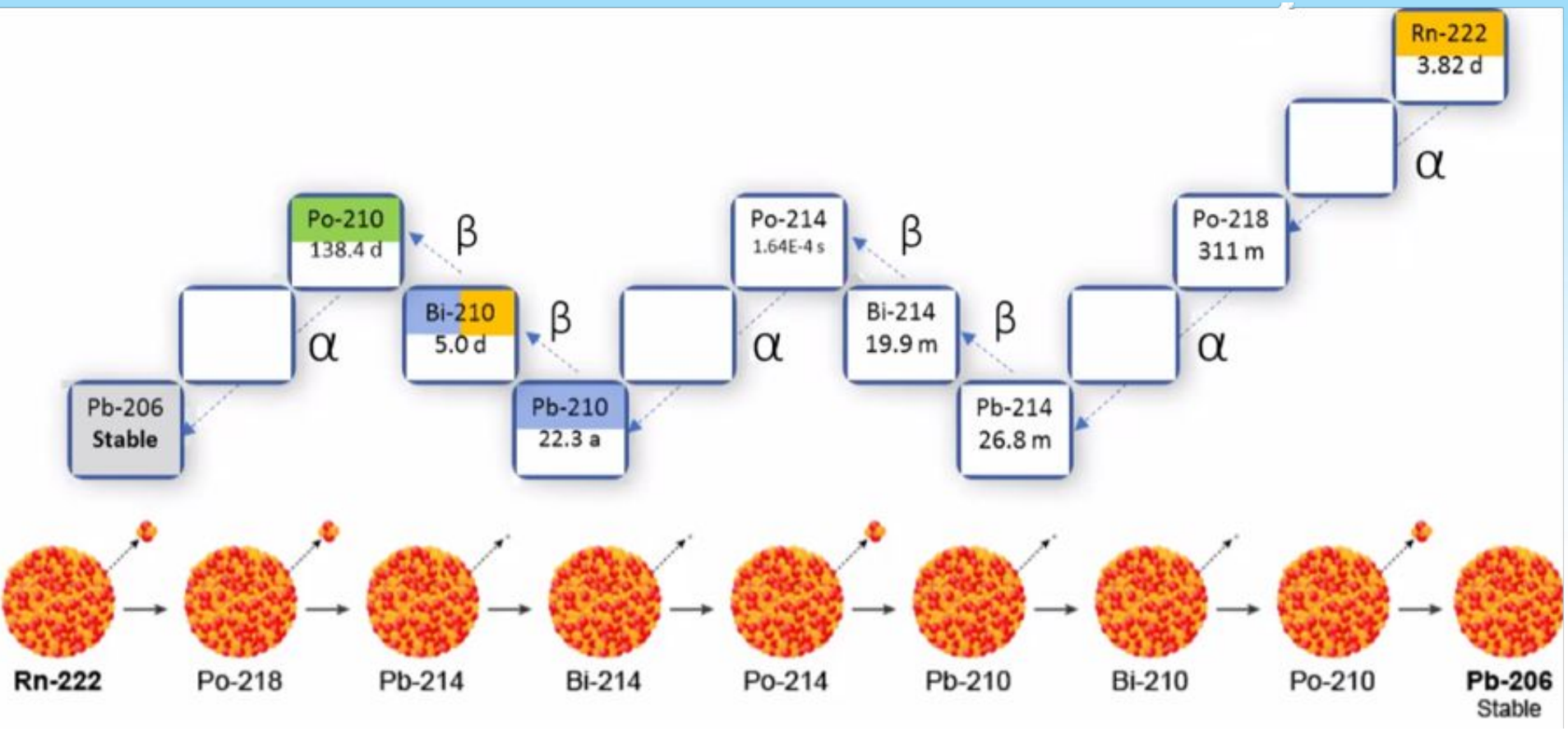
Desintegración radiactiva de un solo paso. En muchos casos, el producto de la desintegración es estable

Desintegración Radiactiva



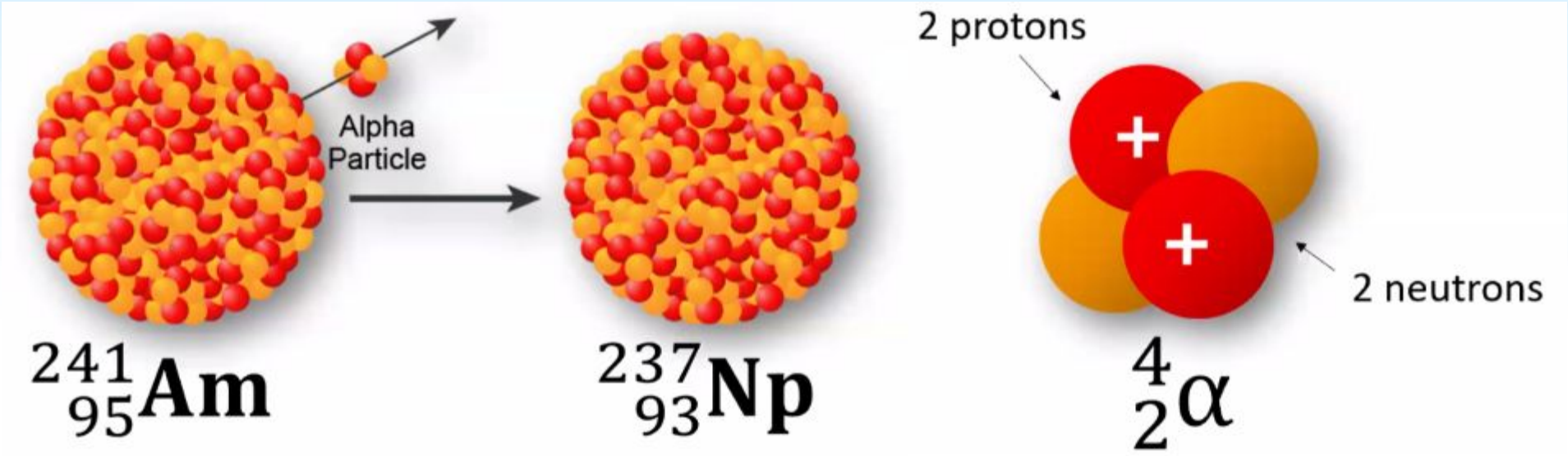
El Radón es descendiente del Radio 226 y forma partículas alfa - un núcleo de helio

Desintegración Radiactiva



Degradación radiactiva en serie - el producto de la desintegración del Radón es radiactivo y continuará desintegrándose hasta estabilizarse

Desintegración Radiactiva Alfa

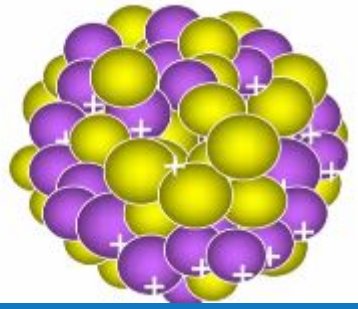


Una **partícula Alfa** es un núcleo de helio con dos protones y dos neutrones. Las partículas alfa son grandes y un peligro si entran a el cuerpo

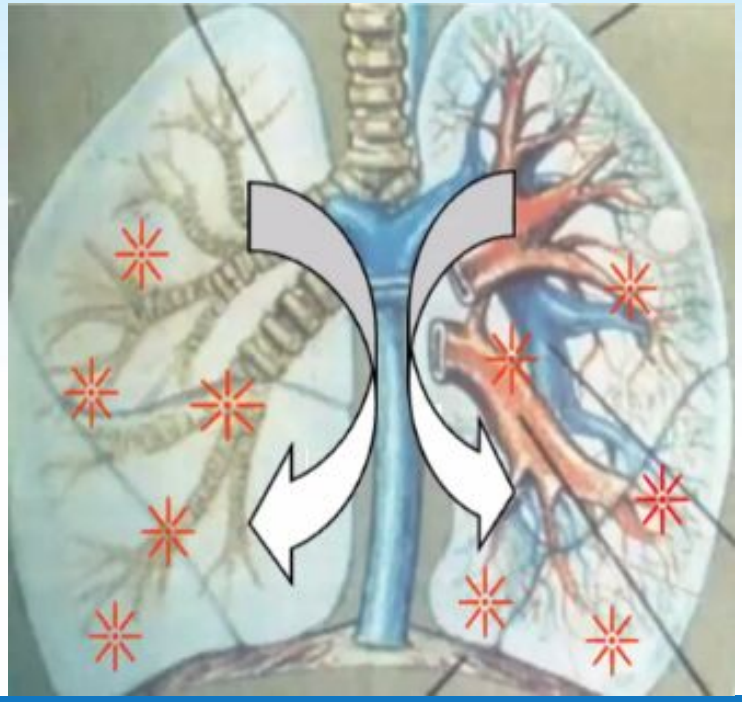
Desintegración Radiactiva Alfa

- Peligrosas dentro del cuerpo

- Relativamente grandes
- Se adhieren a partículas de polvo

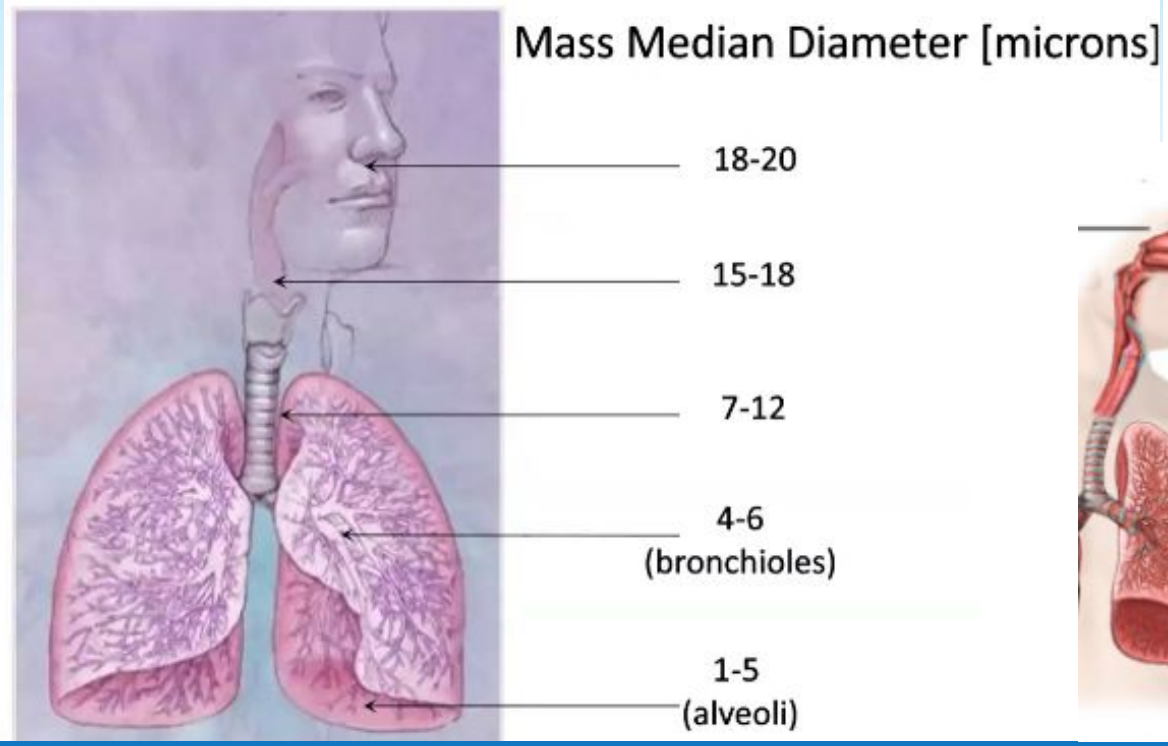


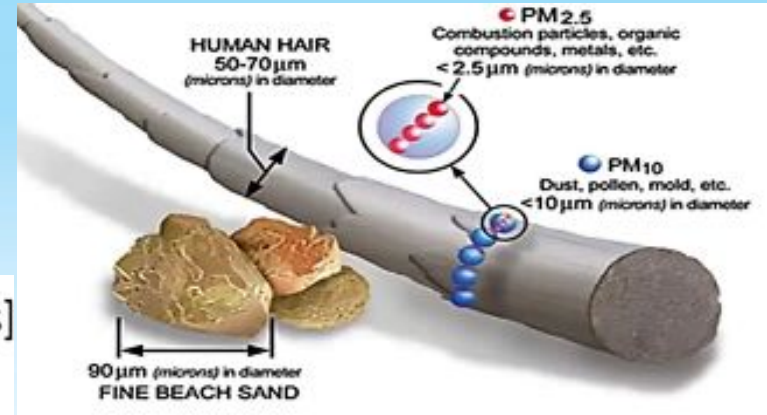


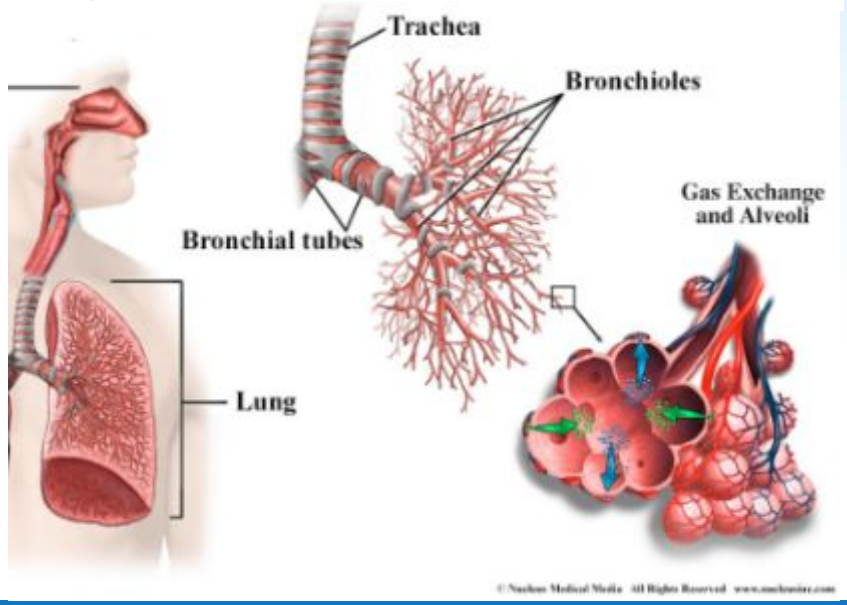


Alfa - Se puede detener fácilmente. No puede atravesar un trozo de papel ni nuestra piel

Desintegración Radiactiva Alfa

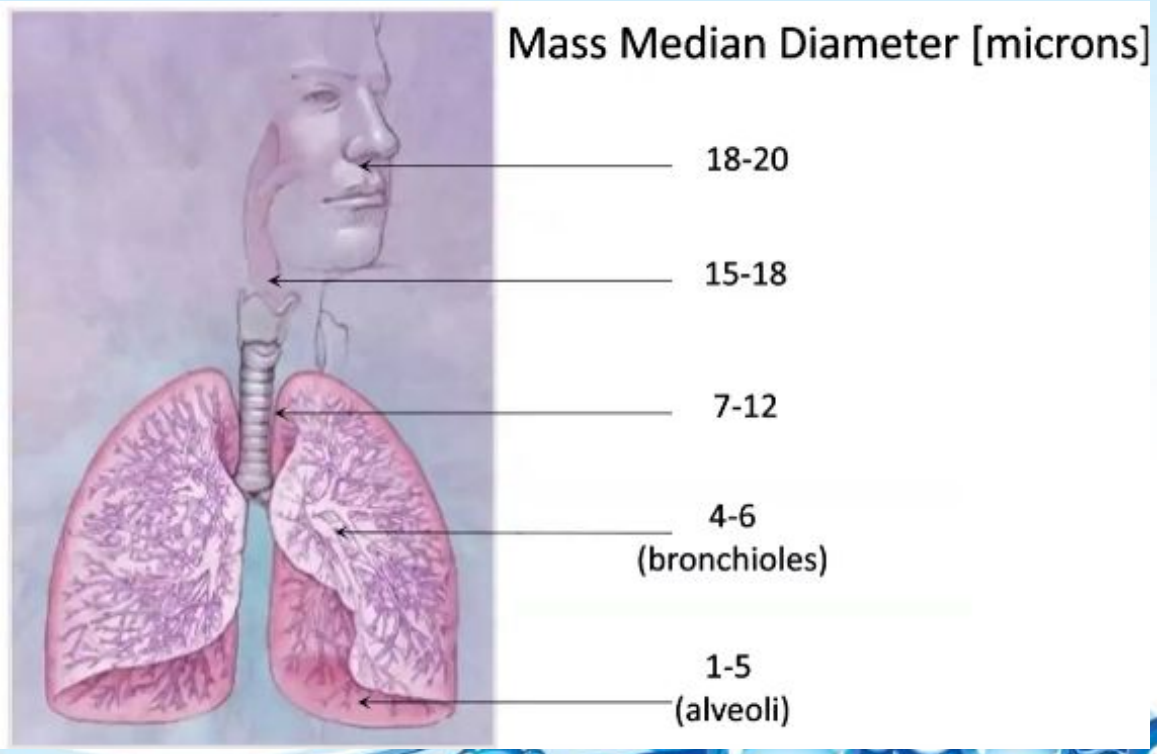






Tamaño del polvo determina dónde se depositan

Desintegración Radiactiva Alfa



Ubicación	Tiempo
Tráquea	0.1 hr
Bronquios	1 hr
Bronquiolos	4 hr
Bronquiolos terminales	10 hrs
Alvéolos	> 100 Días

Tiempo de depuración en el tracto respiratorio

Desintegración Radiactiva Alfa

- Casa de Stanley Watras' house mide 4,400 pCi/L (22WL** 81,400 Bq/m3)
  - Se detectó radiactividad en su ropa
    - Fuente de la radiación eran los productos de descomposición del radón en su ropa
  - Estos se originaron en su casa
  - Comunidad médica de todo el país y del mundo se dio cuenta del posible alcance del problema del radón





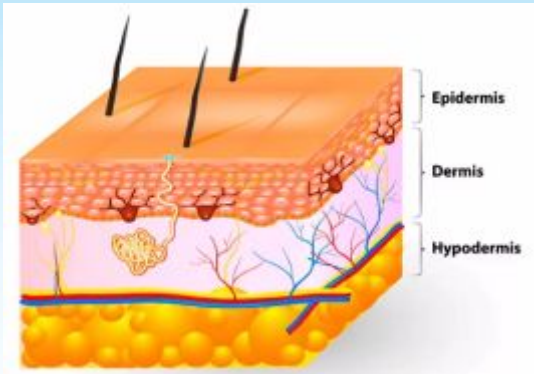
SOURCE: Philadelphia Inquirer
http://articles.philly.com/1987-08-02/news/26170739_1_radon-daughters-picocuries-radon-gas

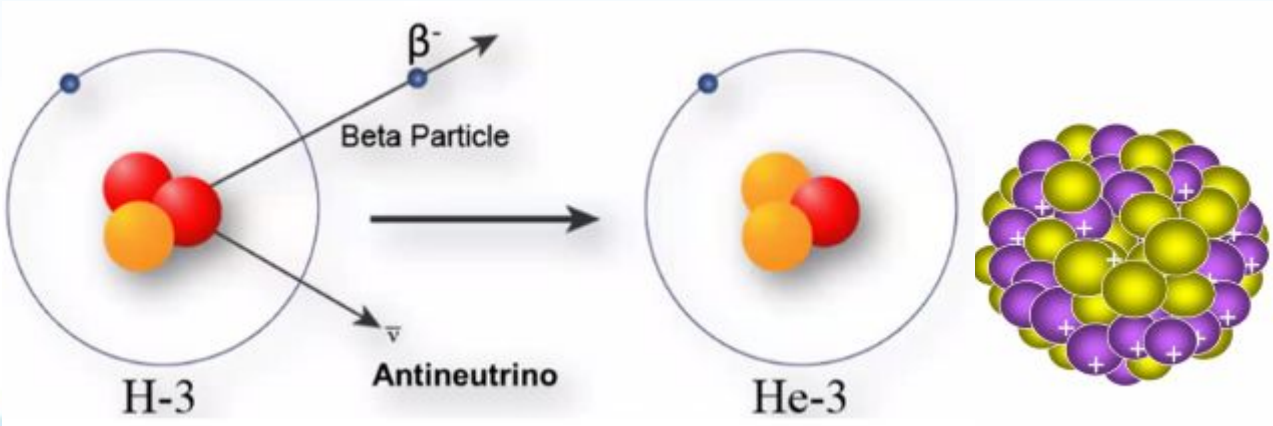
** 1 WL = 100 pCi/L = 3700 Bq/m3 (WL = radiación de los productos de descomposición del radón)

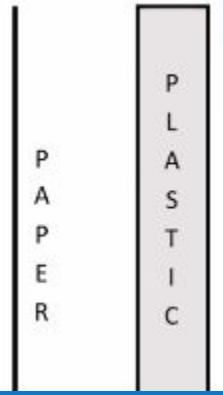
Stanley Watras - Planta de energía nuclear de Limerick - Diciembre 1984

Desintegración Radiactiva Beta

- Partículas beta son electrones que han sido expulsados del núcleo de un átomo durante la desintegración radiactiva
- depositan su energía en los 10 mm exteriores y pueden dañar gravemente la piel (quemada beta). Su ingestión puede ser peligrosa



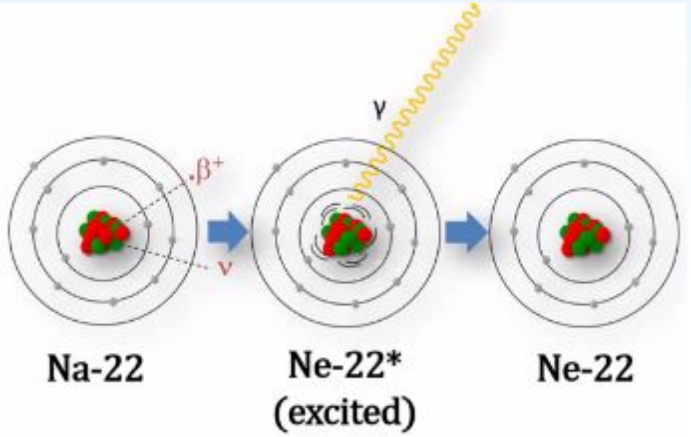


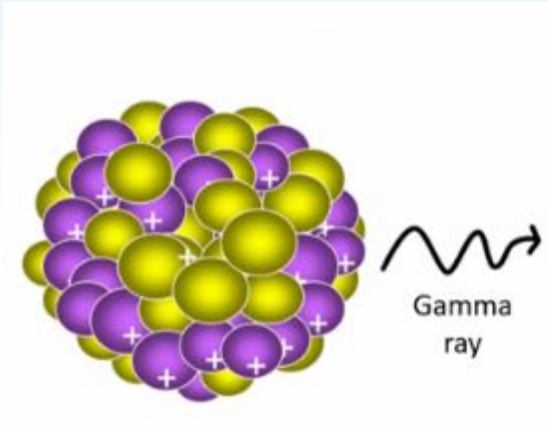


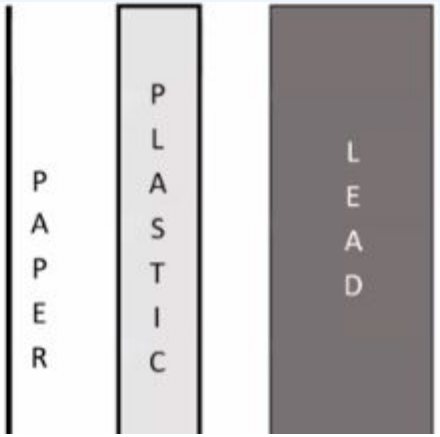
Beta - se puede detener fácilmente con 5-10 mm de plástico

Desintegración Radiactiva Gama

- Rayos γ, rayos X. son ondas emitidas del núcleo - tienen alta frecuencia
- Radiación electromagnética emitida por un núcleo excitado cuando pasa a un nivel de energía más bajo

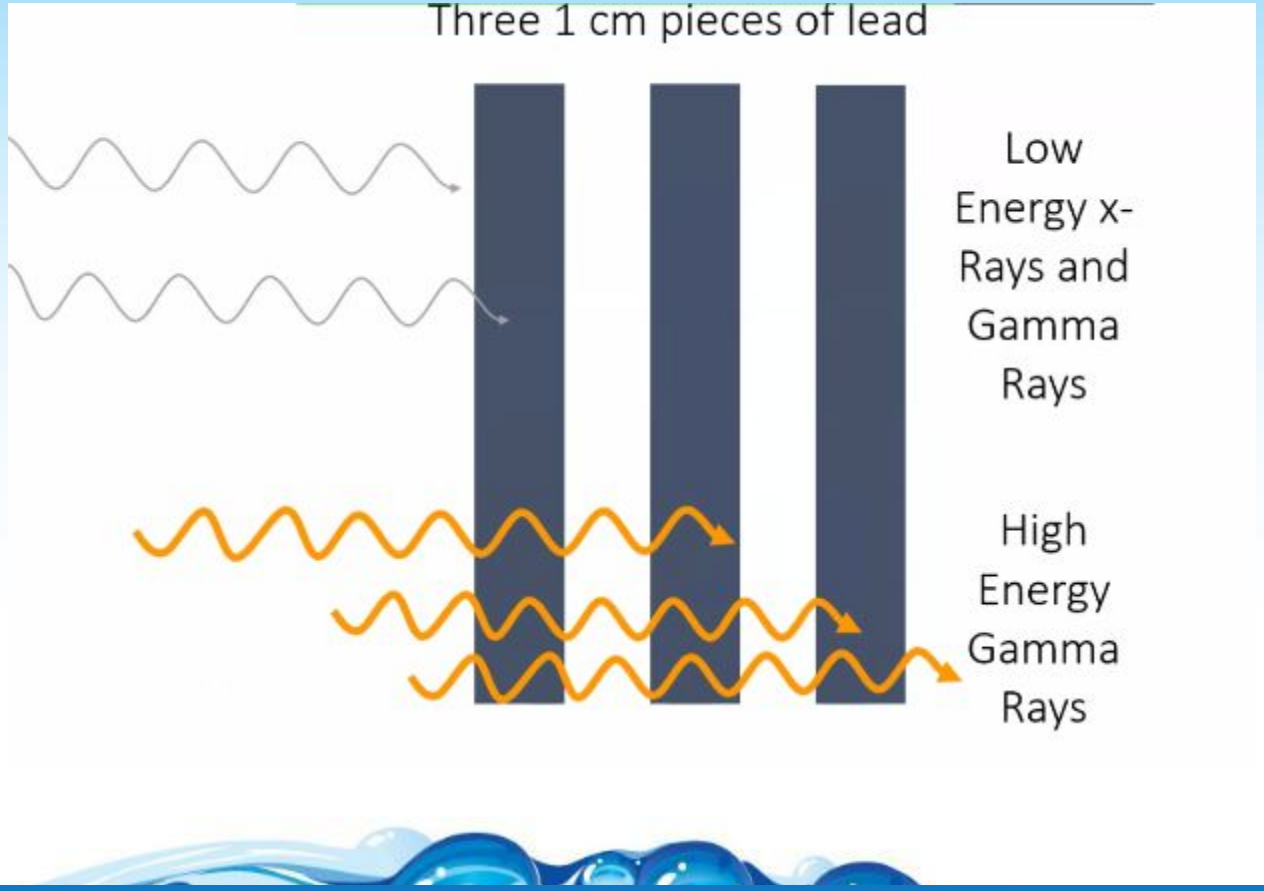






Gama - Bloqueado con material de alta densidad. Tiene mayor energía, por lo que se necesita más protección

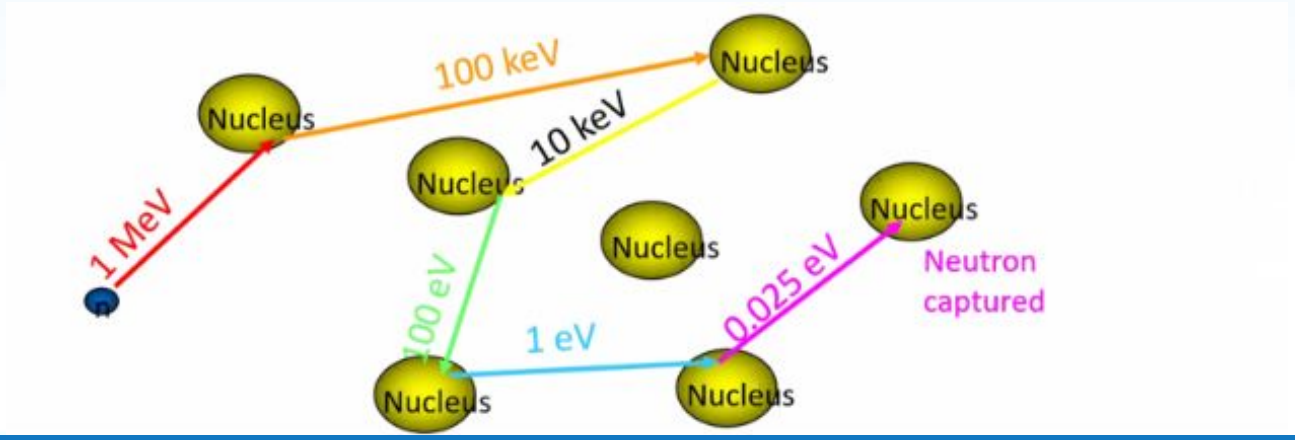
Desintegración Radiactiva Gama



Gamma - Dependiendo de la energía es posible que necesites más protección

Desintegración Radiactiva Neutrones

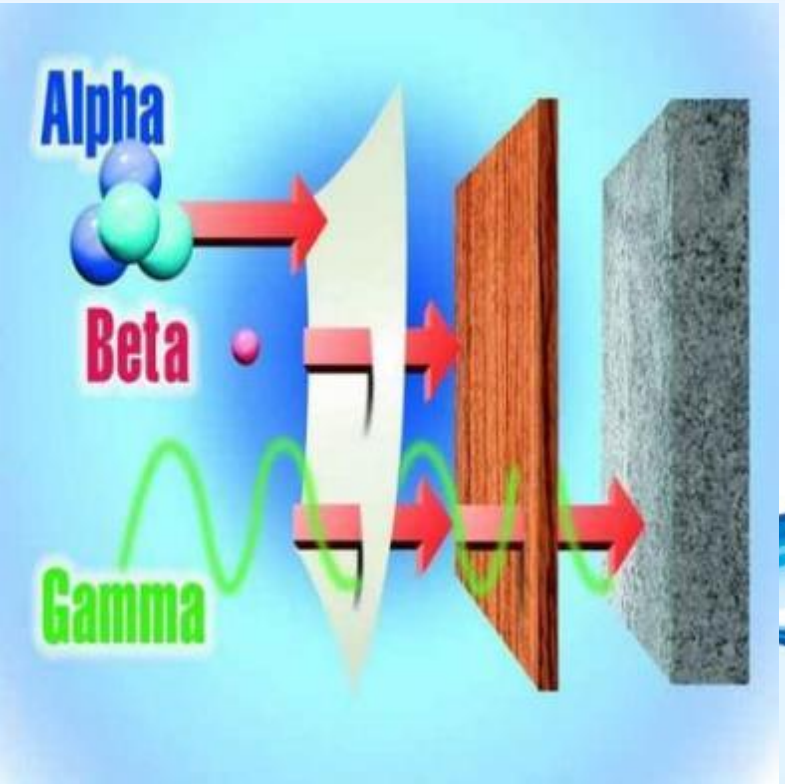
- Neutrones son partículas sin carga eléctrica pero tienen masa
- Son térmicos - pueden viajar largas distancias o ser absorbidos por el cuerpo



Neutrones - Bloqueados con materiales que contienen hidrógeno (agua, plásticos, hormigón)

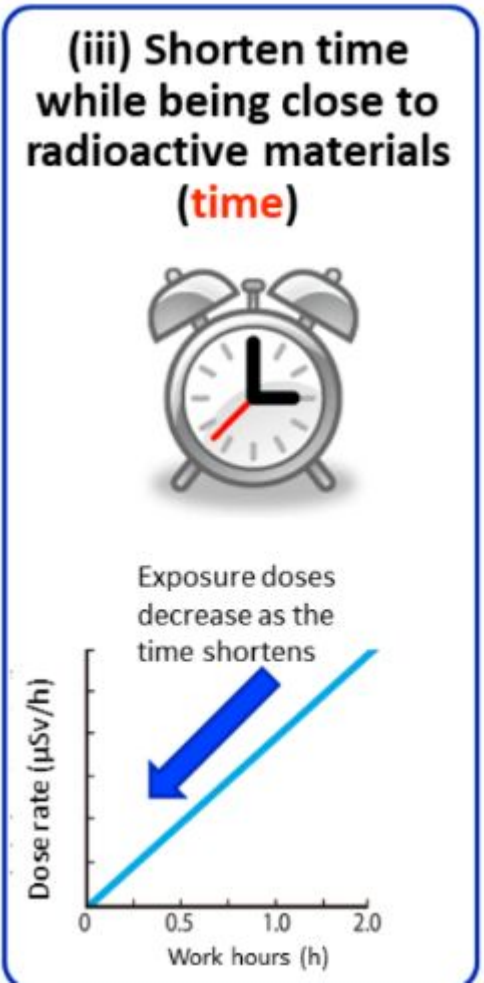
Resumen Radiación

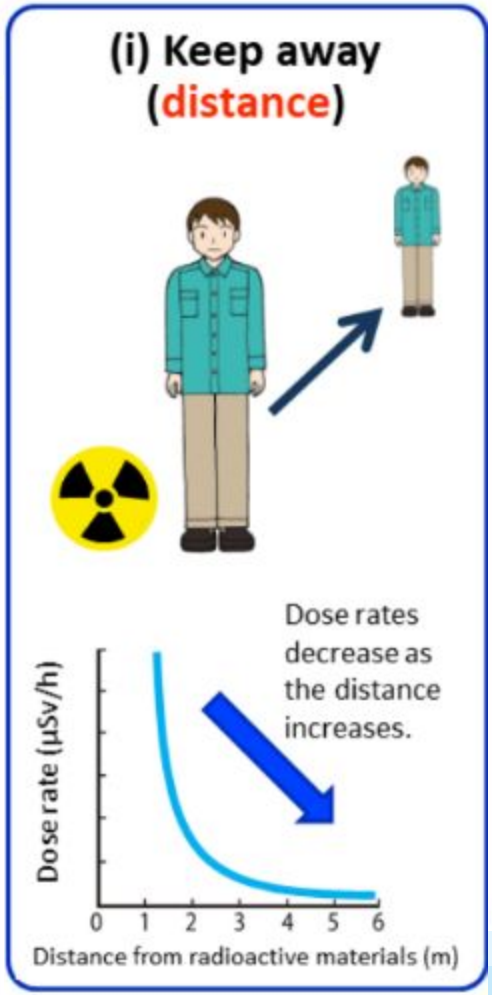
Source: http://www.epa.gov

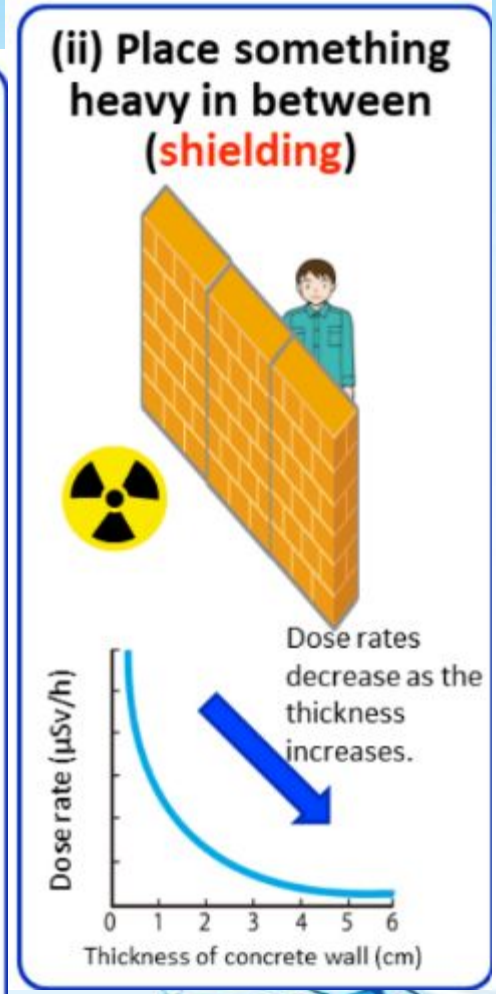


- **Partículas alfa: la más grande**
  - Cargadas positivamente, contienen 2 protones y 2 neutrones
  - Baja capacidad de penetración. El papel, la ropa o algunos centímetros de aire pueden bloquearla
  - Si es ingerida o inhalada, puede ser peligrosa
- **Partículas beta: electrones de alta velocidad** emitidos desde los núcleos de radioisótopos
  - Tiene una carga negativa y una pequeña masa
  - Se puede bloquear con un cartón grueso o madera
- **Radiación gamma** (muy similar a los rayos X)
  - No tiene carga, longitud de onda muy corta y alta energía (más penetrante - 500 metros)
  - Bloqueado por gruesas láminas de plomo o cemento

Fundamentos de física de la Salud







Tiempo, distancia y blindaje

Resumen

- Radiactividad Natural es la emisión espontánea de radiación por elementos inestables que existen en la naturaleza. Sus principales fuentes son:
  - Radionucleidos Primordiales
  - Radionucleidos Cosmogénicos
  - Series de Desintegración Radiactiva



Resumen

- Radiactividad Natural…
  - Radionucleidos Primordiales:
    - Isótopos con vidas medias muy largas
    - Se formaron en la Tierra primitiva y aún persisten
    - Los más importantes son el uranio-238, el torio-232 y el potasio-40.



Resumen

- Radiactividad Natural…
  - Radionucleidos Cosmogénicos:
    - Se crean continuamente en la atmósfera terrestre cuando la radiación cósmica (partículas de alta energía del espacio) choca con los átomos de los gases atmosféricos
    - El carbono-14 es el ejemplo más conocido, utilizado en la datación por radiocarbono



Resumen

- Radiactividad Natural…
  - Series de Desintegración Radiactiva:
    - Los elementos primordiales como el uranio y el torio no se desintegran directamente en un isótopo estable
    - Forman una cadena de varios isótopos radiactivos (hijos) que se desintegran uno tras otro, emitiendo radiación (alfa, beta, gamma, neutrones) en cada paso, hasta llegar a un isótopo estable de plomo.

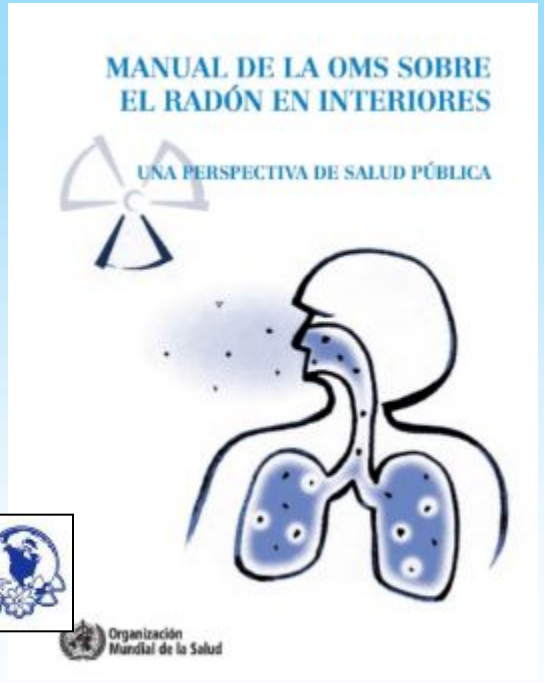


Resumen

- Radiactividad Natural…
  - Es una parte omnipresente de nuestro universo y constituye la mayor parte de la exposición a la radiación que recibe la persona promedio.
  - Fuentes comunes incluyen el gas **radón** (procedente de la desintegración del uranio y radio en el suelo y las rocas), la radiación cósmica y los alimentos.



Un problema de salud pública



Cancer causado por descendientes de radón ha sido bien establecido por la comunidad científica. **Nuestra acción es eminente.**

Contacto

Jorge Laguna, Físico de Salud
Oficina de Control de Radiación de Florida
http://radon.floridahealth.gov
Jorge.Laguna@FlHealth.Gov
850-245-4397



Características básicas del radón

Mecanismos de transporte en el suelo y Edificios

Jorge Laguna, Jorge.Laguna@flhealth.gov
Administrador Ambiental
Oficina de Control de Radiación de Florida
Estados Unidos

Objectivos

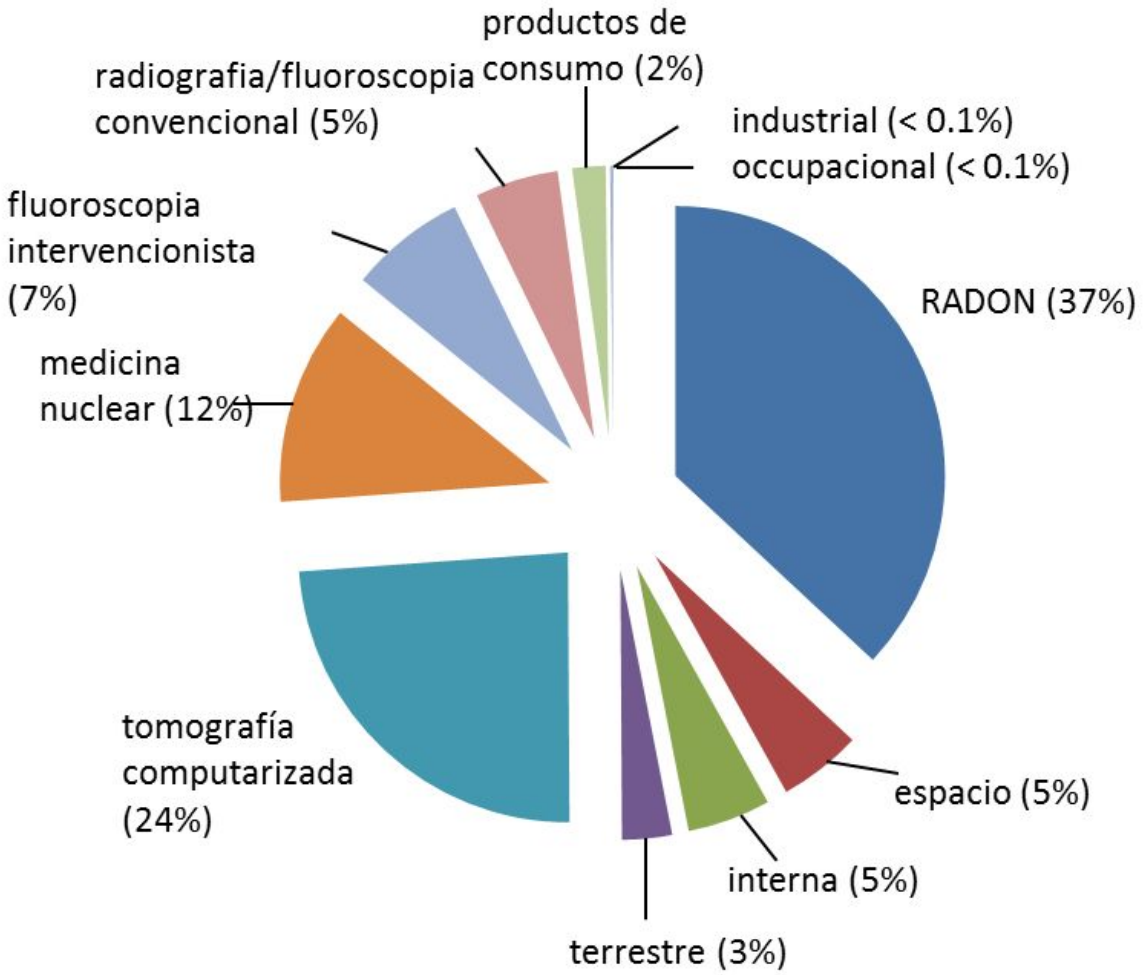
- Radón – Por qué nos importa
- Que es el Radón
- Riesgos a la Salud
- Entrada y comportamiento del Radón
- Radón en el Aire y Agua
- Casos en Florida y Estados Unidos

El Radón solo no Causa Cáncer de Pulmón

Por qué nos importa?

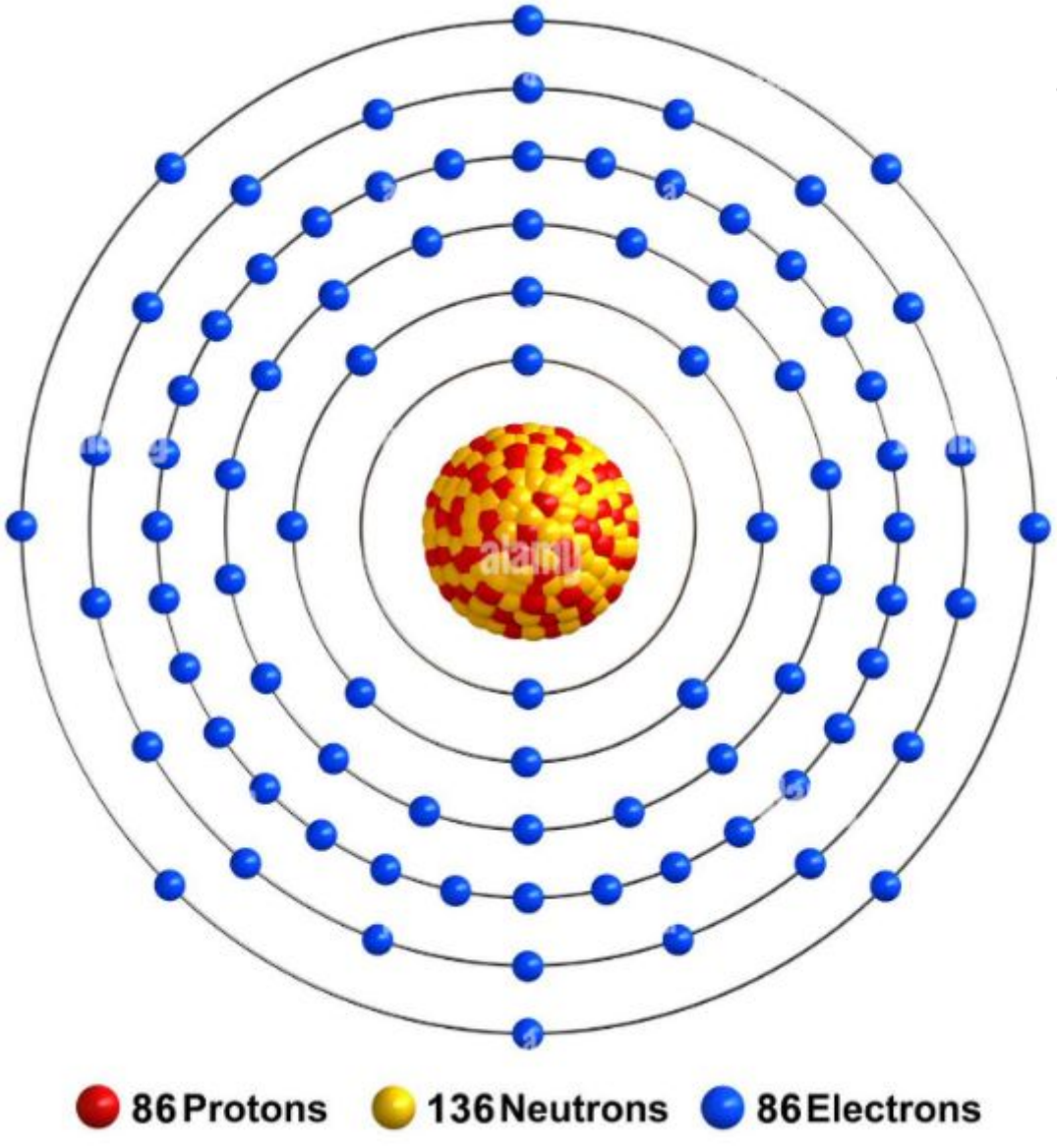
- Segunda causa de cancer pulmonar
- Causa principal de cancer pulmonar en no fumadores
- 21,000 muertos en los Estados Unidos
- El cancer pulmonar le cuesta a la economía $1.5 Billones/ Anualmente
- Riesgo de salud se puede minimizar

Por qué nos importa? Fuentes de Radiación

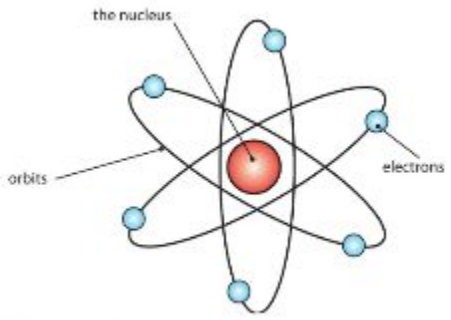


- Dosis de radiación anual promedio por persona es de 6,2 mSv viviendo con 59 Bq/m^3 (1.6 pCi/L) – dosis de trabajadores radiológicos es 20 mSv
- Mayor contribuyente a la dosis promedio de radiación en los EE.UU. es el radón y PDR (37%)
- Radiación es 1/2 de hace 1600 años

Elementos

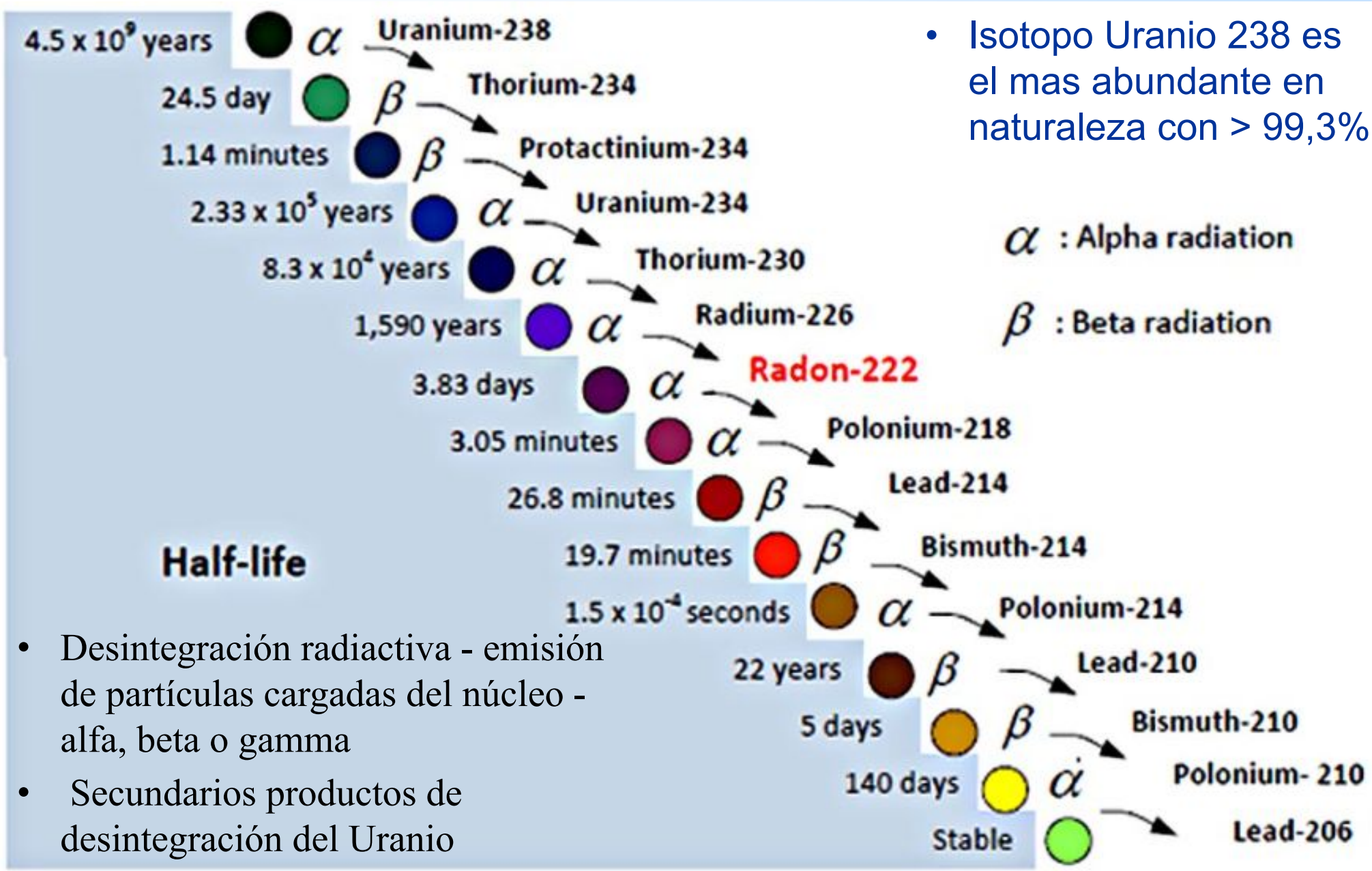


- La materia está compuesta de pequeñas partículas llamadas átomos (modelo de **Rutherford**)
- Está compuesta de sustancias elementales
  - Un elemento es una sustancia química que consiste de átomos que tienen el mismo número de protones en sus núcleos
  - Estructura atómica del radón



The Rutherford Atom for Carbon

Radionucleidos de origen natural

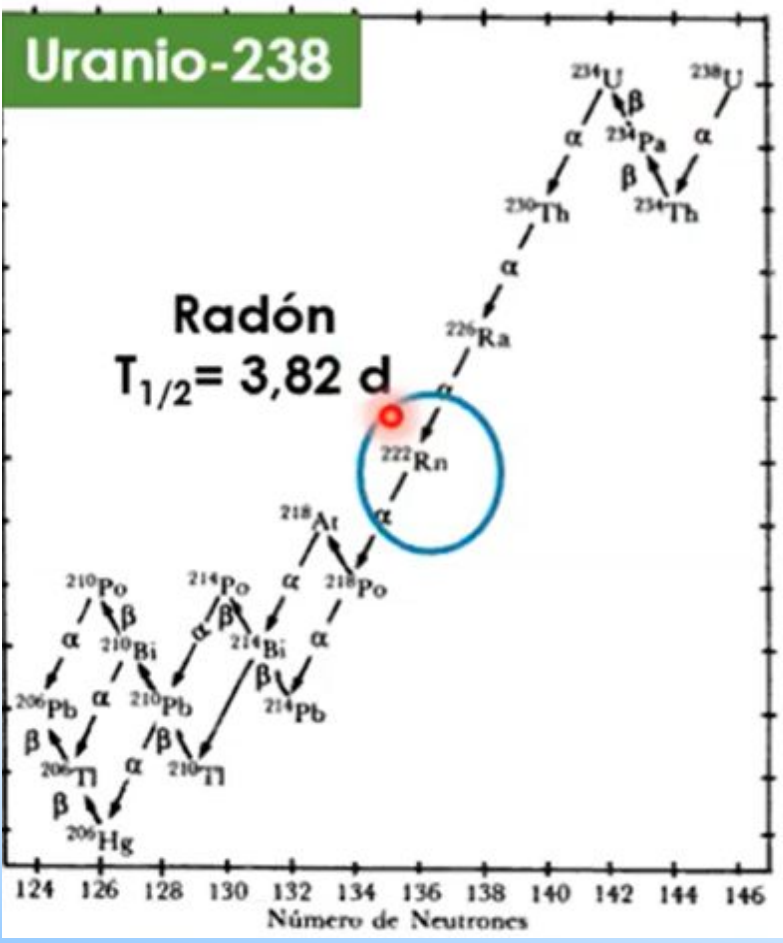


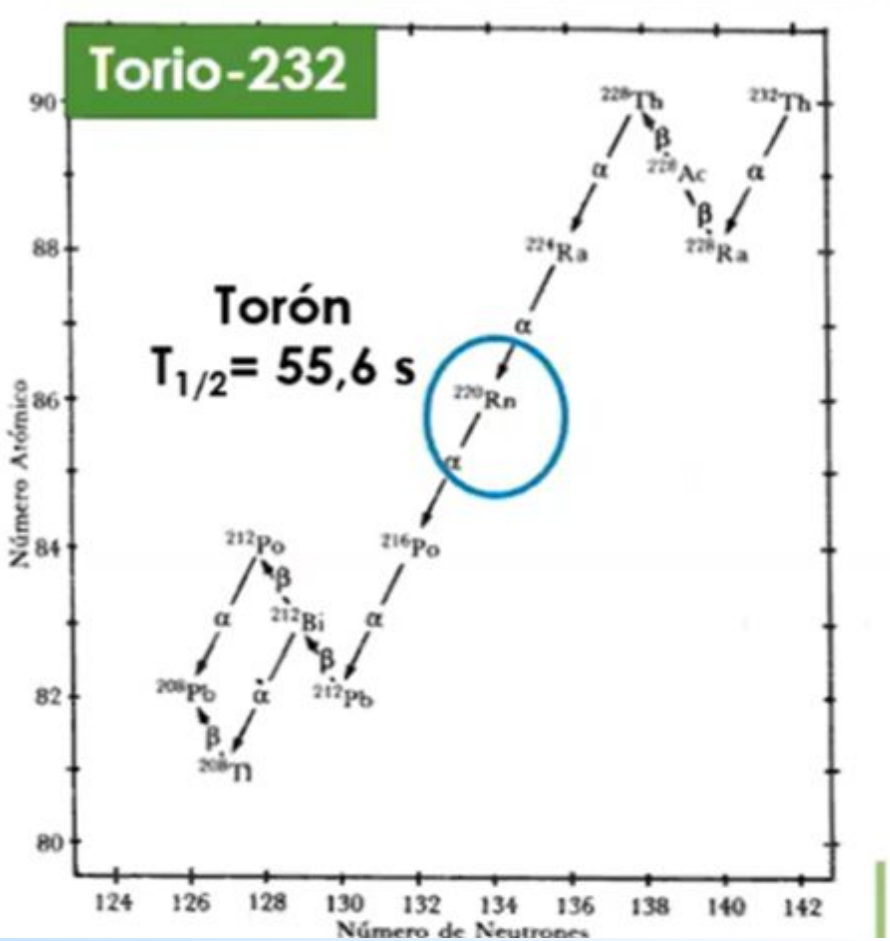
- Isotopo Uranio 238 es el mas abundante en naturaleza con > 99,3%

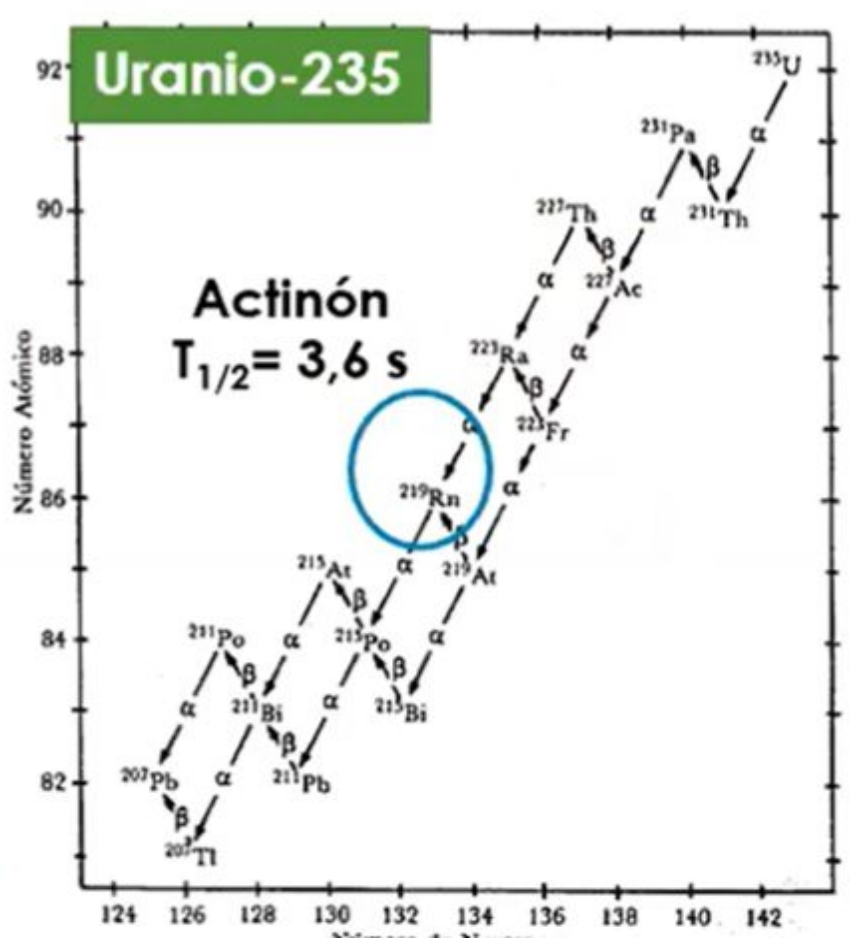
- Desintegración radiactiva - emisión de partículas cargadas del núcleo - alfa, beta o gamma
- Secundarios productos de desintegración del Uranio

Radionucleidos de origen natural

Decaimiento de estos elementos generan isotopos de Radón 222, 222, 219

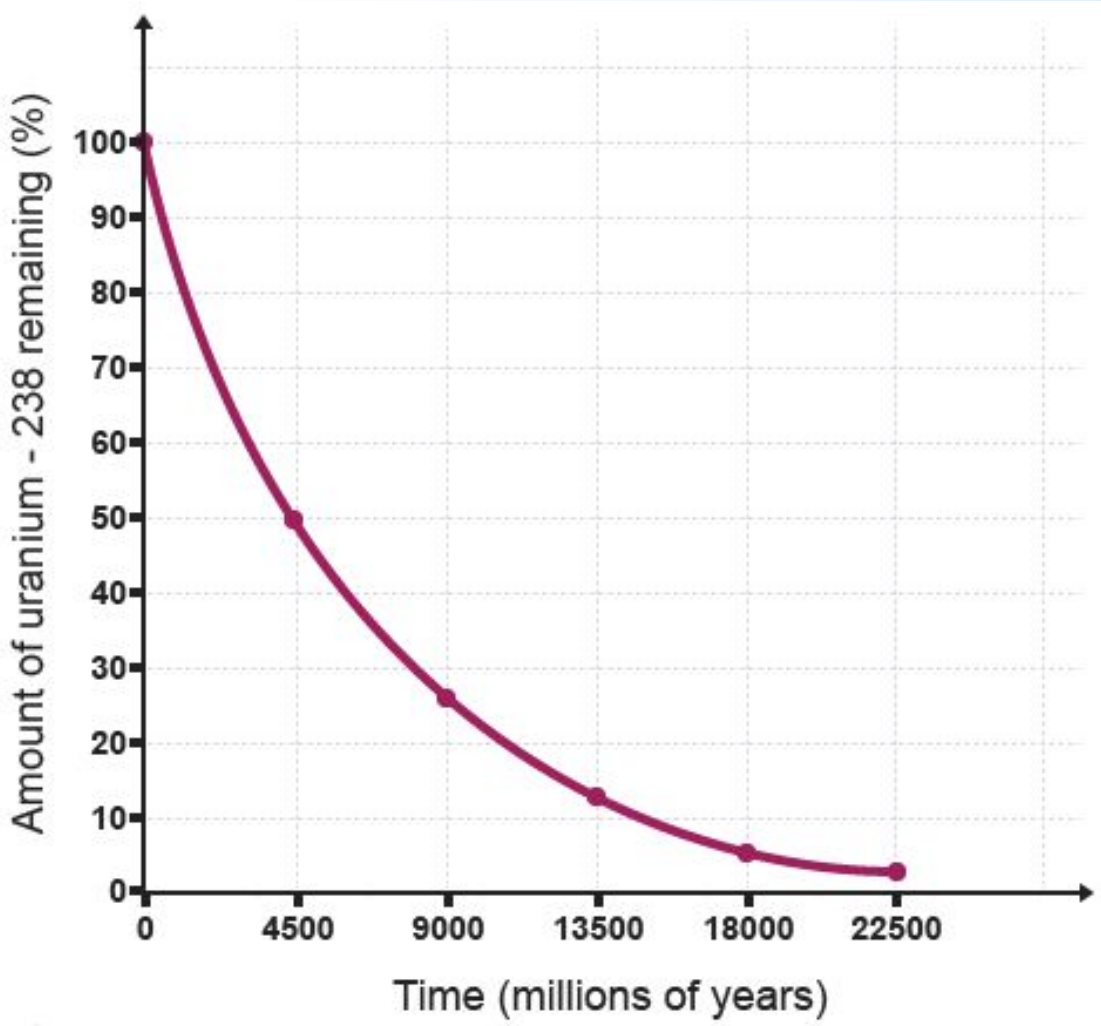






Vida Media

- Tiempo que tarda la mitad de los átomos de un elemento radiactivo en desintegrarse
- Uranio - vida media de 4,5 billones de años
- Radio es de 1600 años
- La vida media del radon es 3,8 días



http://www.bbc.co.uk/education/guides/zkktyrd/revision

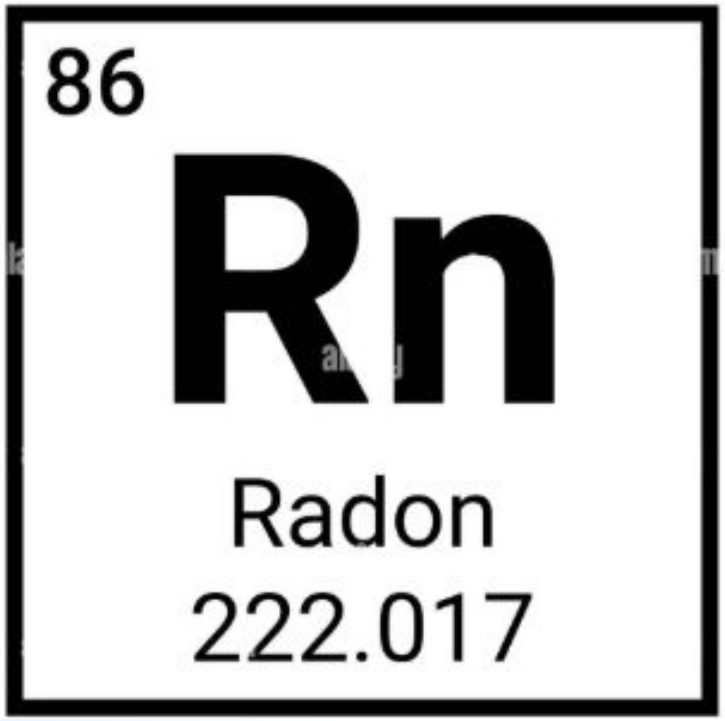
Cadena de Desintegración del Radón



T1/2 Radio 226 ~ 1602 años
Significa que hace 1600 años el mundo era más radiactivo

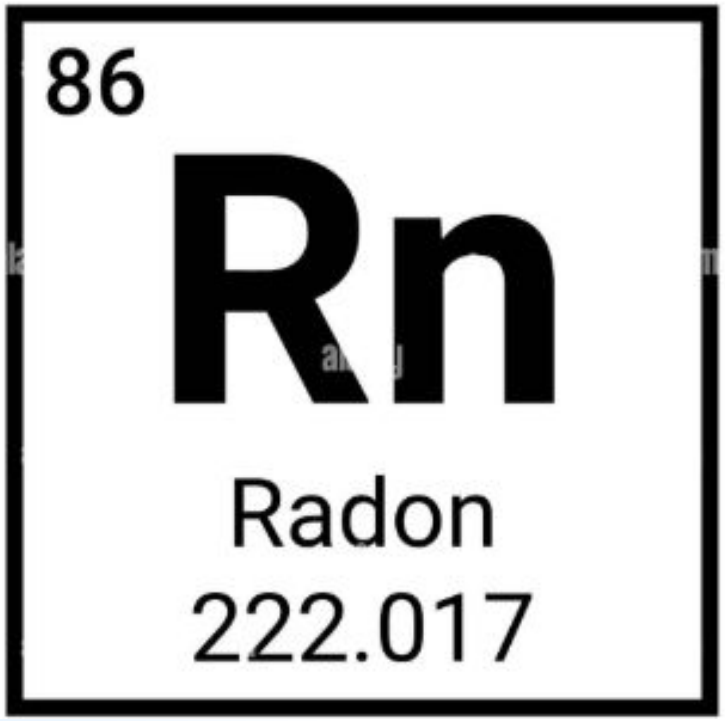
Po-218 y **Po-214** administran la mayoría de dosis de radiación a los pulmónes

Unidades de Medida



- Gas Radón
  - PicoCuries por litro (pCi/L) - Bequerelios por metro cúbico (Bq/m^3)
- Descendientes de vida corta (PDR - Productos de desintegración del radón)
  - Se miden en Working Levels (WL)
  - La exposición a PDR's en Working Level Month (WLM)

Características de los Átomos

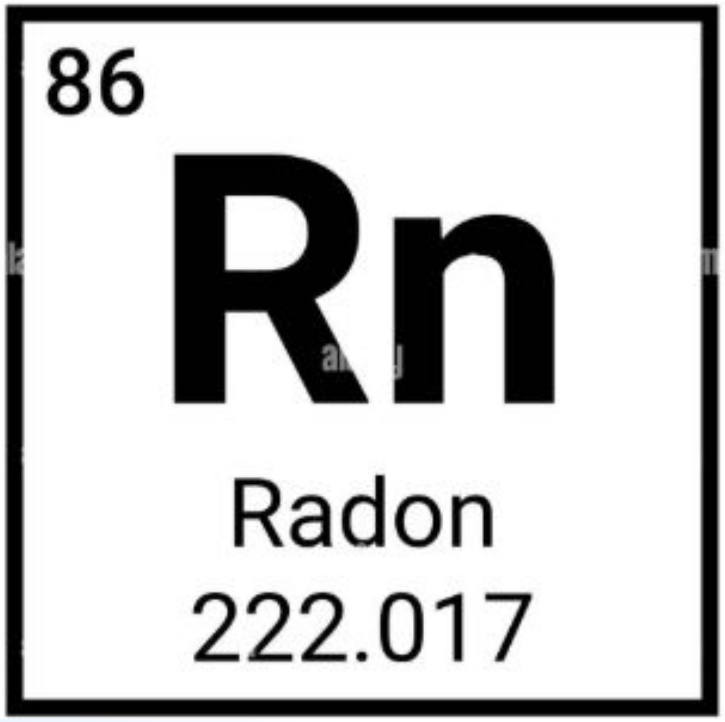


- El número atómico (86 Rn) es igual al número de protones en el núcleo

- El número de masa (Rn 222) es igual a la suma del número de protones y neutrones en un núcleo

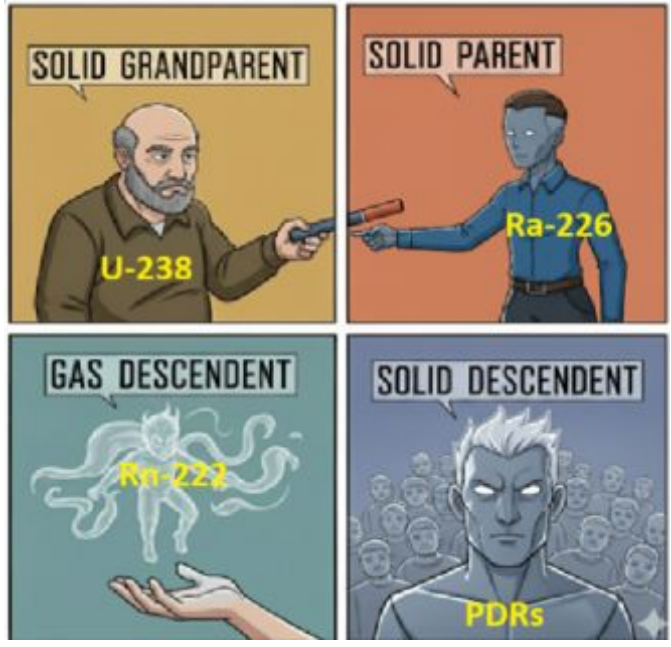
c

Características de los Átomos



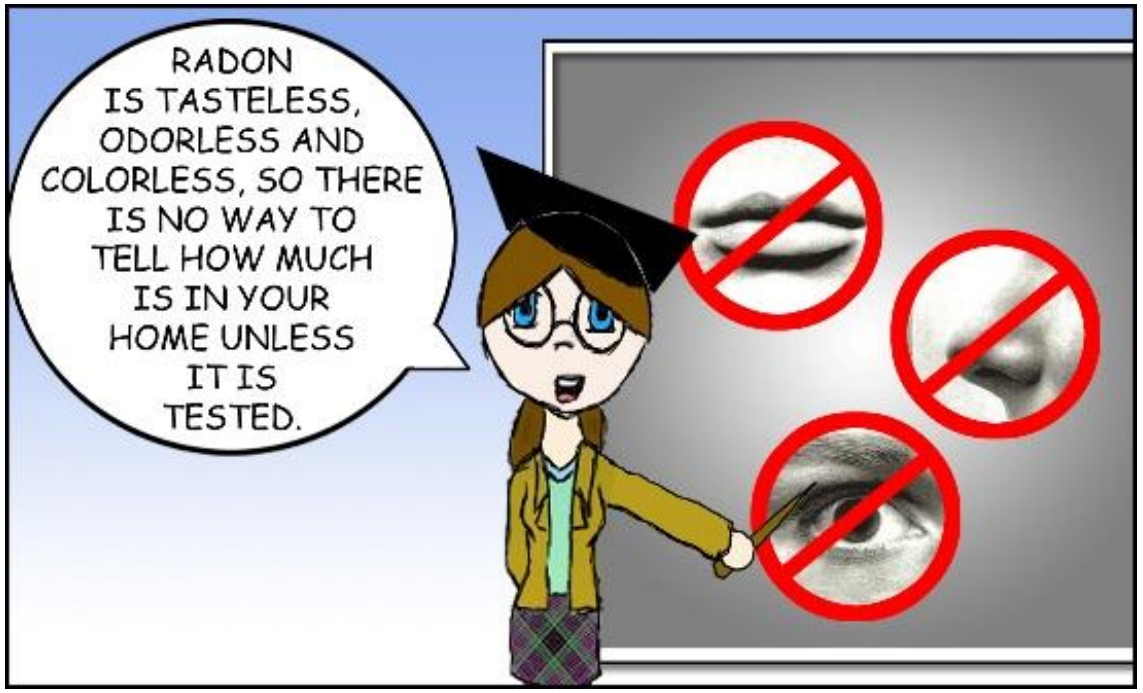
- El abuelo es el Uranio - solido
- El padre es el Radio – solido
- Corrientes de agua con pH distinto puede separar el radio del uranio

- El Rn es gaseoso y radiactivo – asociado con niveles de radio produce radiación ionizante



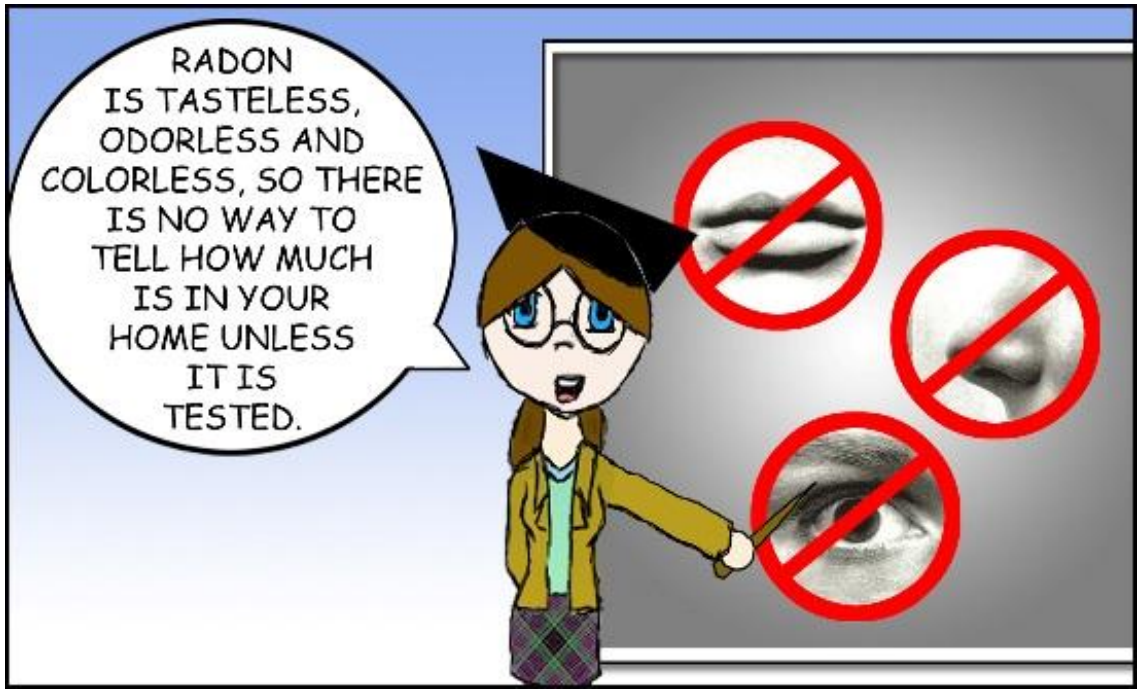
Radón

- Un gas noble natural, que es inodoro, incoloro, insípido y radiactivo
- Formado por la descomposición del radio-226 que se encuentra naturalmente en el suelo, la roca y los materiales de construcción de tierra
- Se acumula en los edificios, a veces alcanzando niveles altos
  - Mayor fuente de exposición a la radiación natural



Radón…

- A medida que el radón decae, produce partículas dañinas de radiación alfa (polonio-218 y polonio-214) las cuales causan cáncer de pulmón
- Descendientes son la principal causa de cáncer de pulmón entre los no fumadores
- Entra por Difusión o Convección

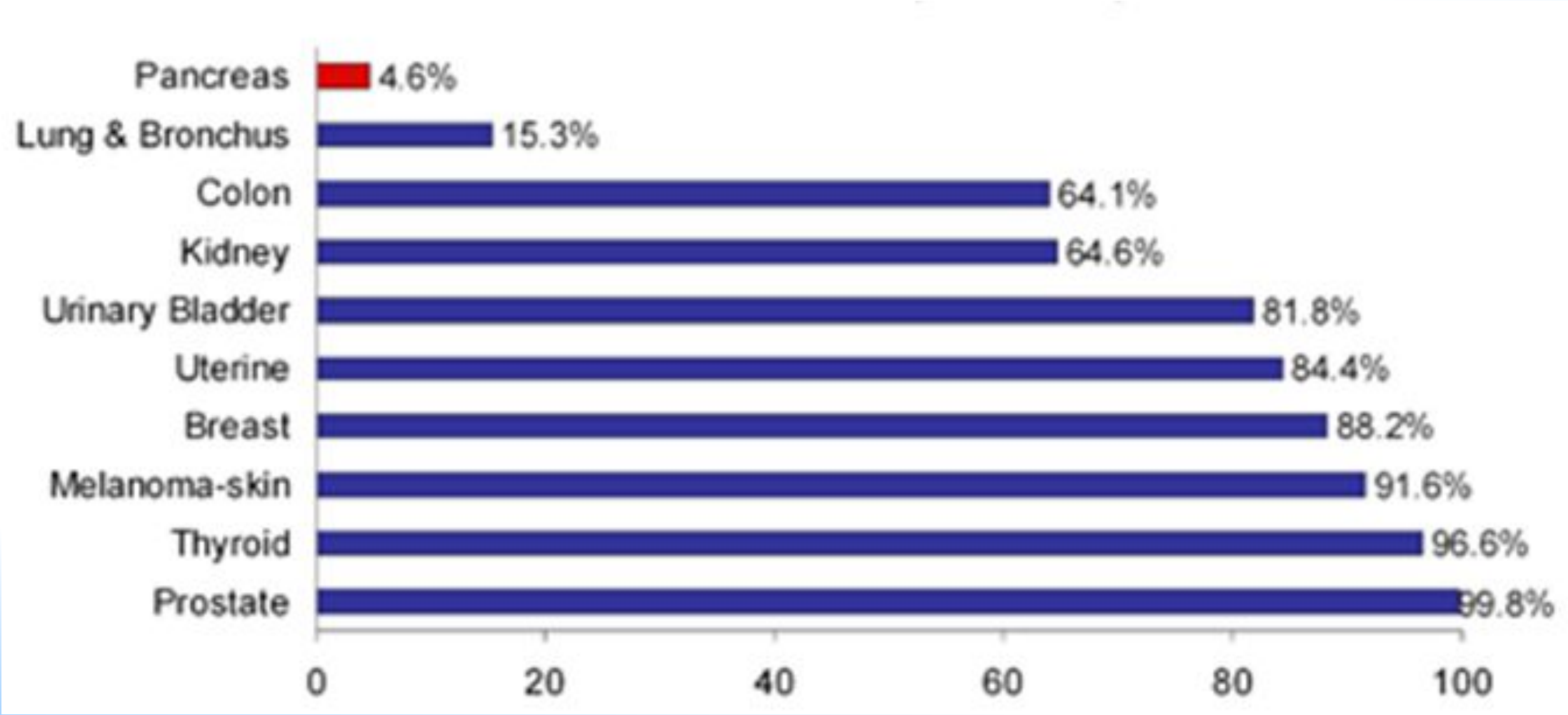


Radón: Carcinógeno de clase A

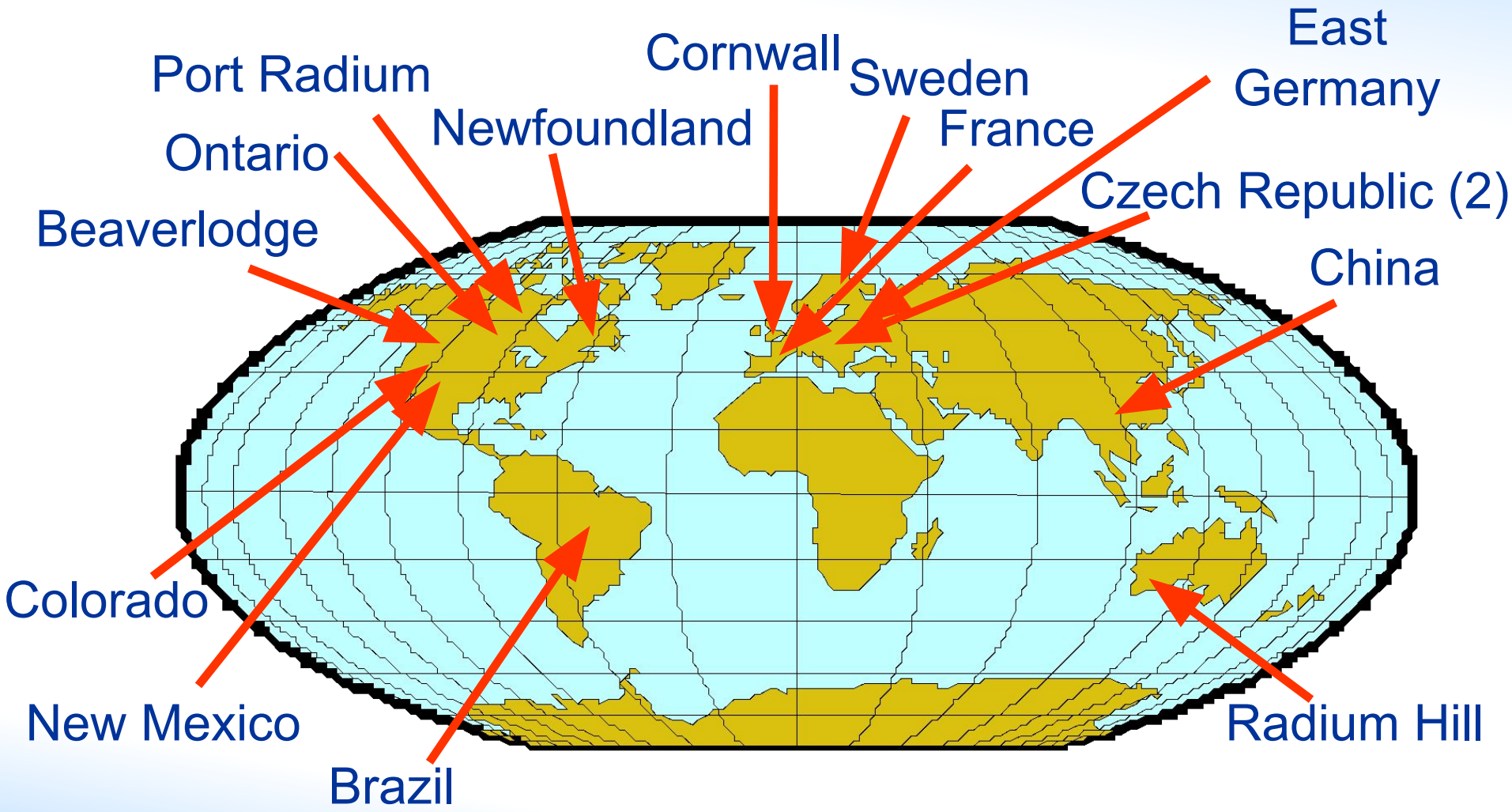
Clase A	Clase B1	Clase B2	Clase C	Clase D	Clase E
Carcinógeno humano	Probable carcinógeno humano	Probable carcinógeno humano	Posible carcinógeno humano	Posible carcinógeno humano	No clasificable como carcinógeno humano
Suficiente evidencia humana para la asociación causal entre exposición y cáncer (Rn, Asbesto)	Evidencia de cáncer limitada en humanos (Cadmio)	Evidencia inadecuada en humanos y evidencia suficiente en animales (formaldehido)	Evidencia limitada en animales (Chloroformo, DDT)	Evidencia inadecuada en animales (tolueno)	Al menos dos ensayos con animales adecuados o ambos estudios epidemiológicos y en animales negativos (azufre)

La EPA clasifica los carcinógenos en diferentes grupos según la evidencia científica existente. El radón está clasificado como un carcinógeno de Clase A, la clasificación más alta para el potencial de cáncer

Tasa de Supervivencia de Cinco Años

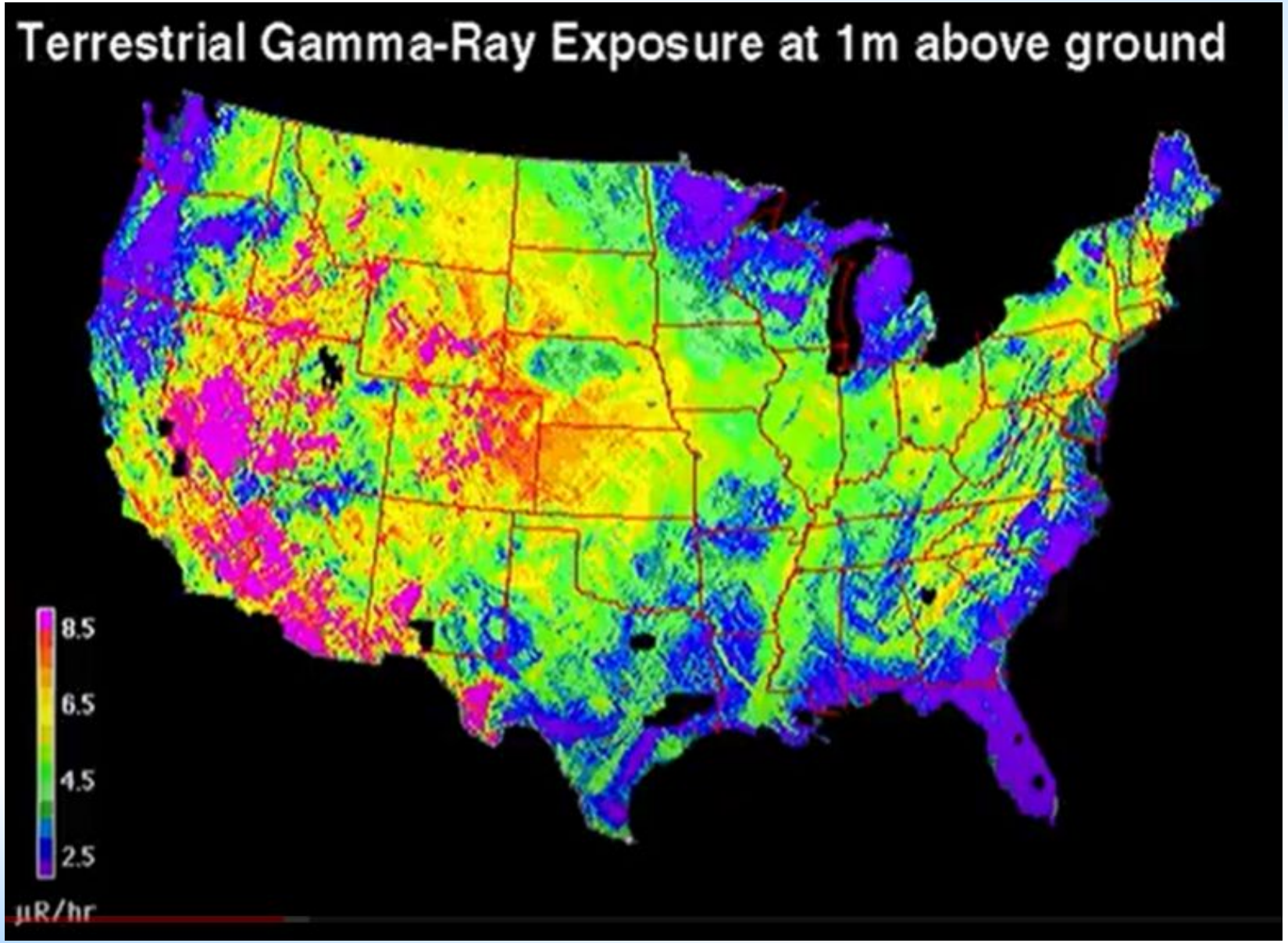


Grupo de estudio: Mineros expuestos al radón



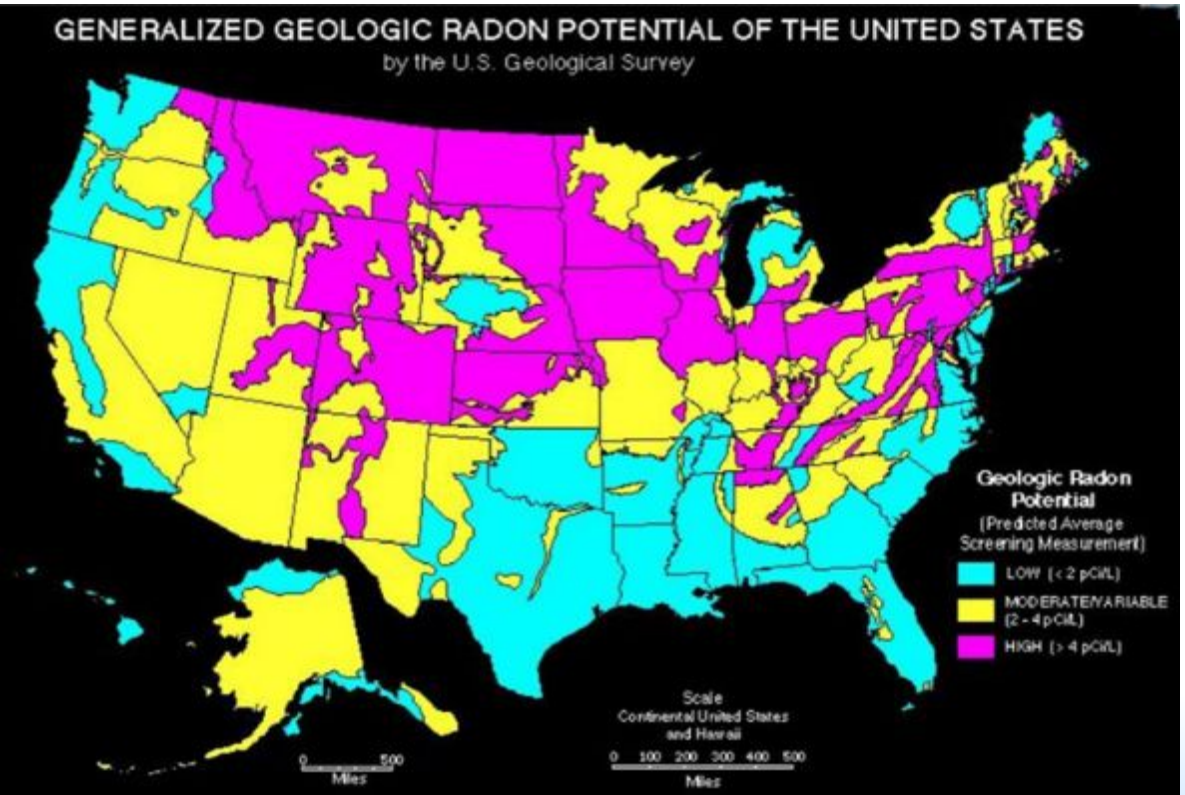
Source: http://www.epa.gov/radon

Exposición gamma a 1 metro



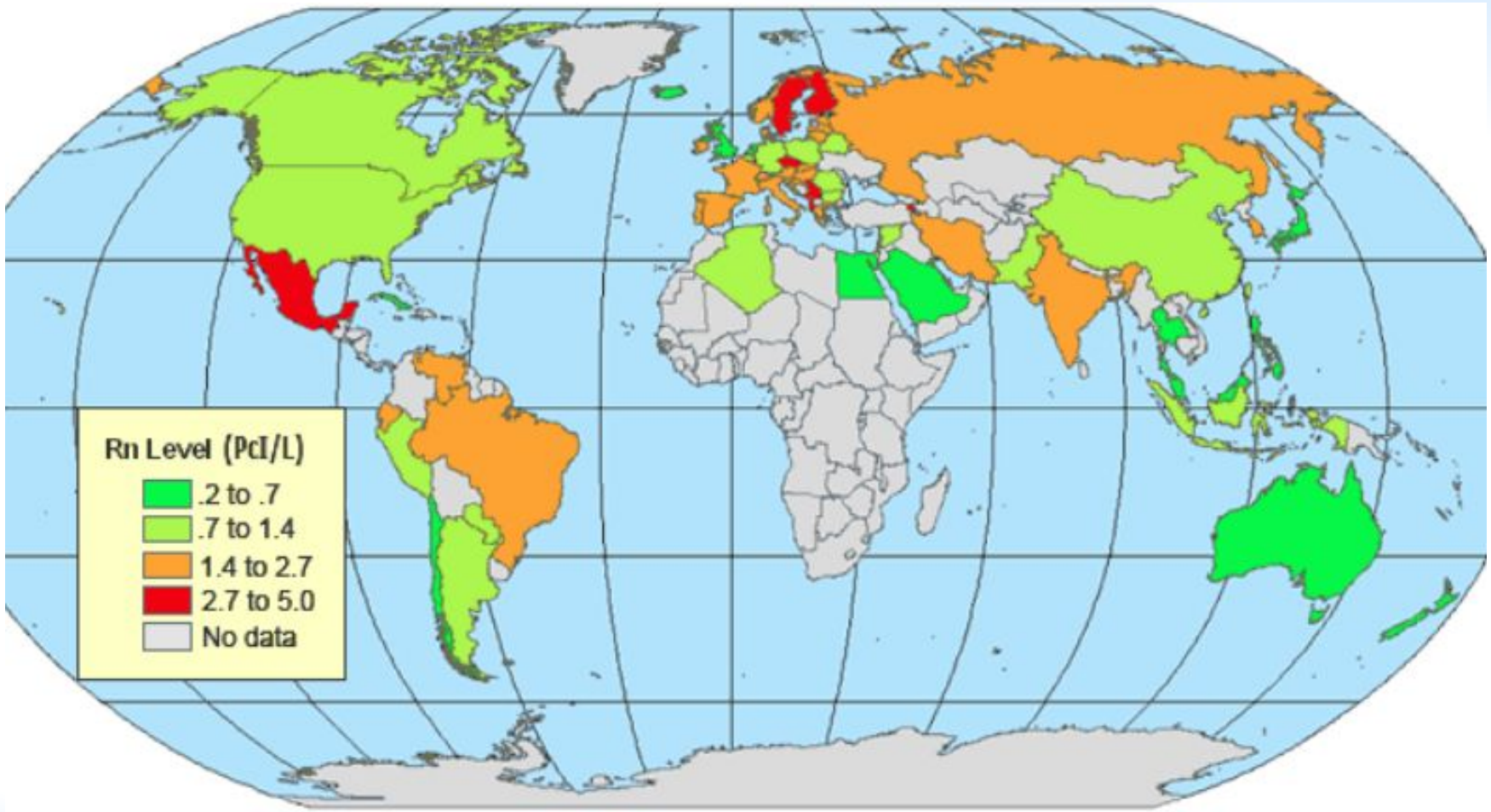
Potencial geológico de radón

- Aplicar niveles de acción basados en dosis por la exposición a niveles externos de radiación ionizante de la serie de desintegración del uranio y el torio - radón



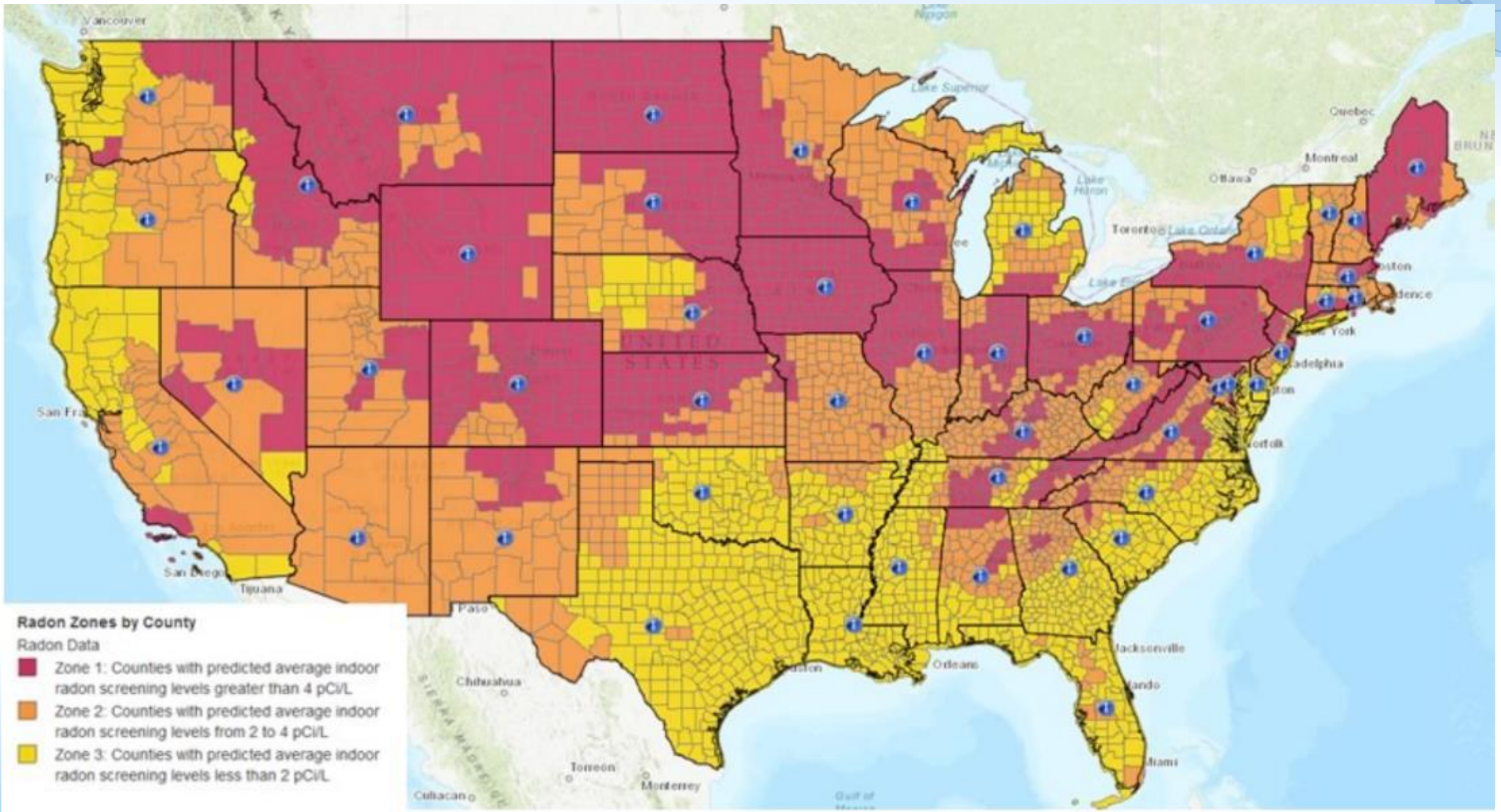
- Niveles basados en recomendaciones de ATSDR, EPA y NCRP
- Coordinación es importante para la coherencia regulatoria, donde agencias comparten responsabilidades para garantizar la protección de la salud humana y el medio ambiente frente a los componentes radiológicos

Niveles promedios de radón en el mundo



Comité Científico de las Naciones Unidas. La concentración internacional de radón se mide en Bq/m3 -1pci/L=37 Bq/m3.

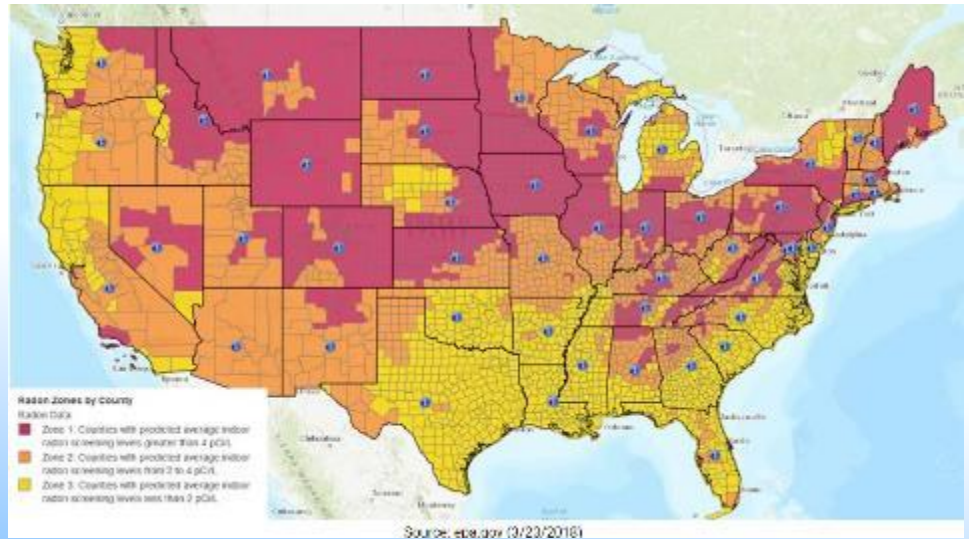
Mapa potencial de zonas de radón - EPA



Source: epa.gov (3/23/2018)

Mapa potencial de zonas de radón - EPA

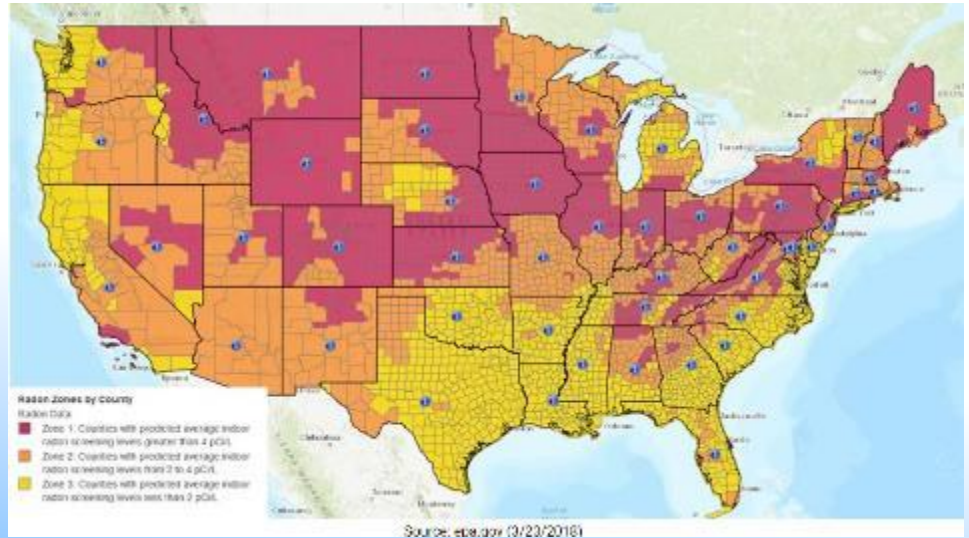
- 1993 - Incorporó cinco factores claves para cada una de 360 provincias geológicas de EEUU
  - Creado por la EPA en colaboración con el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)



- Se evaluó el potencial de radón para las **360 provincias geológicas** y luego se extrapoló esta información para asignar a cada uno de los **3.141 condados** de EE UU a una de tres zonas de radón

Mapa potencial de zonas de radón - EPA

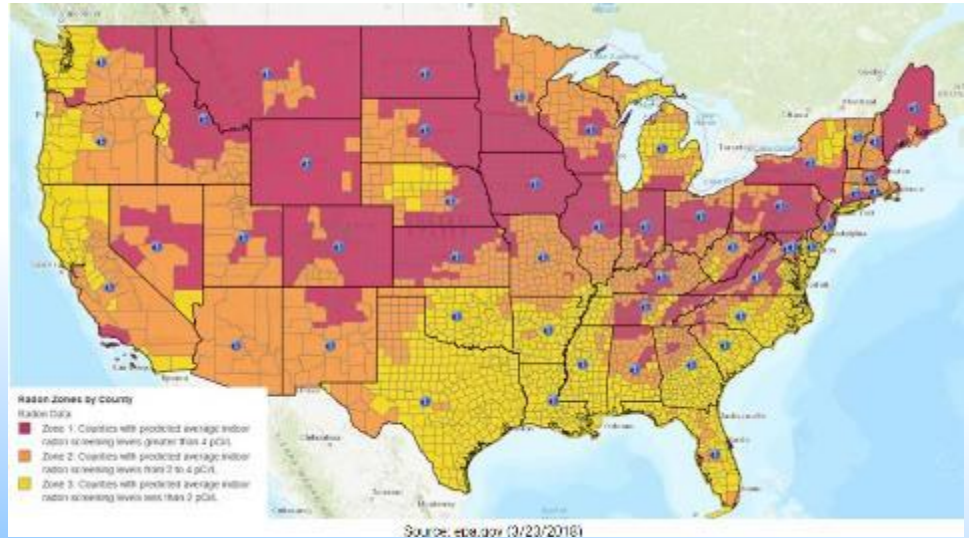
- Factores claves para las 360 provincias
  - **Mediciones** de radón en interiores: estos datos provienen de varias fuentes, incluidos seis años de encuestas de radón residencial realizadas por los estados y la EPA y encuestas residenciales estatales independientes



  - **Geología:** comprender las formaciones rocosas y del suelo subyacentes que producen y permiten que el radón se mueva
  - **Radiactividad aérea**: Medidas de la radiación natural emitida por el suelo

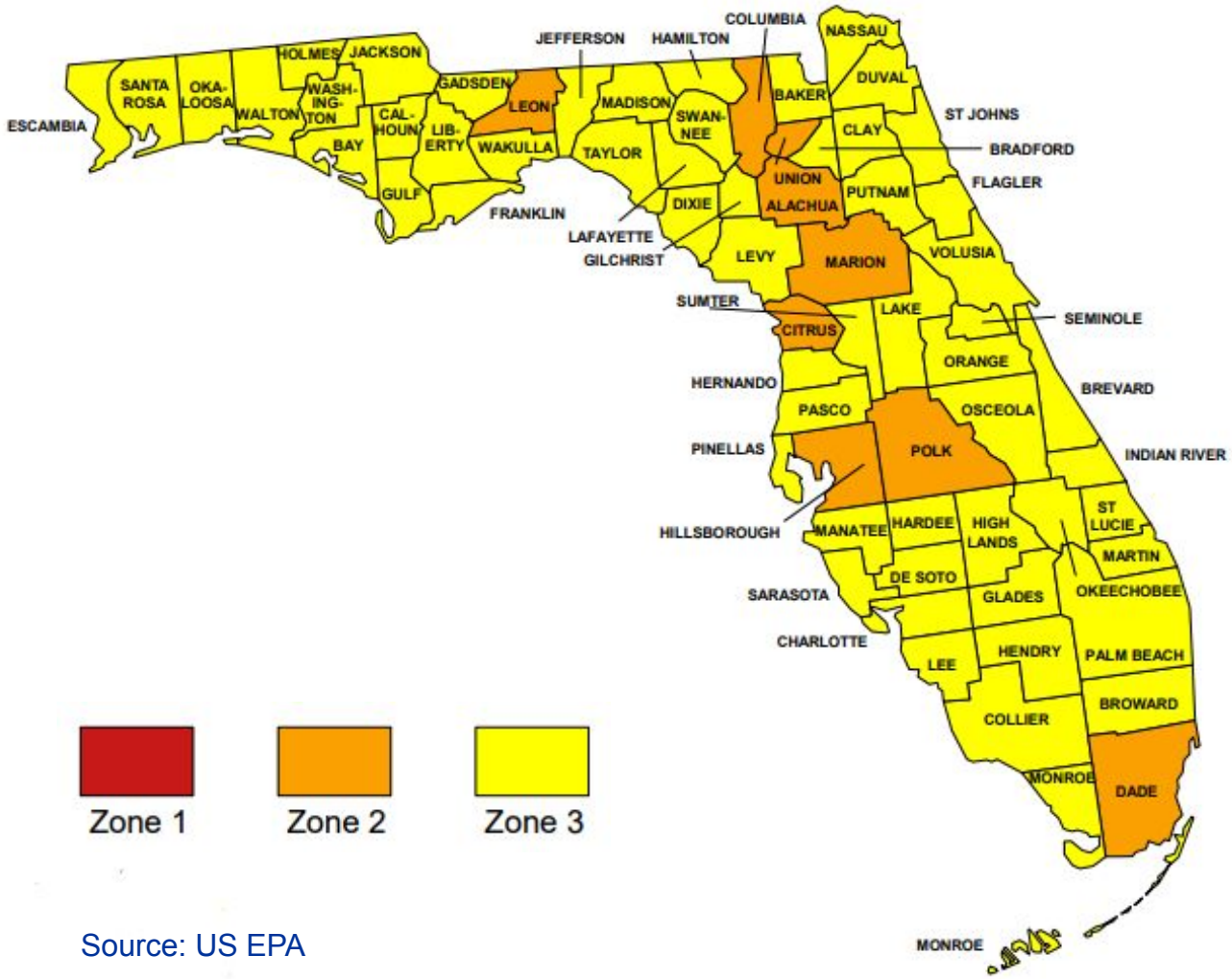
Mapa potencial de zonas de radón - EPA

- Factores claves para las 360 provincias
  - **Parámetros del suelo**: Características del suelo que afectan la migración del radón (por ejemplo, tipo, permeabilidad)

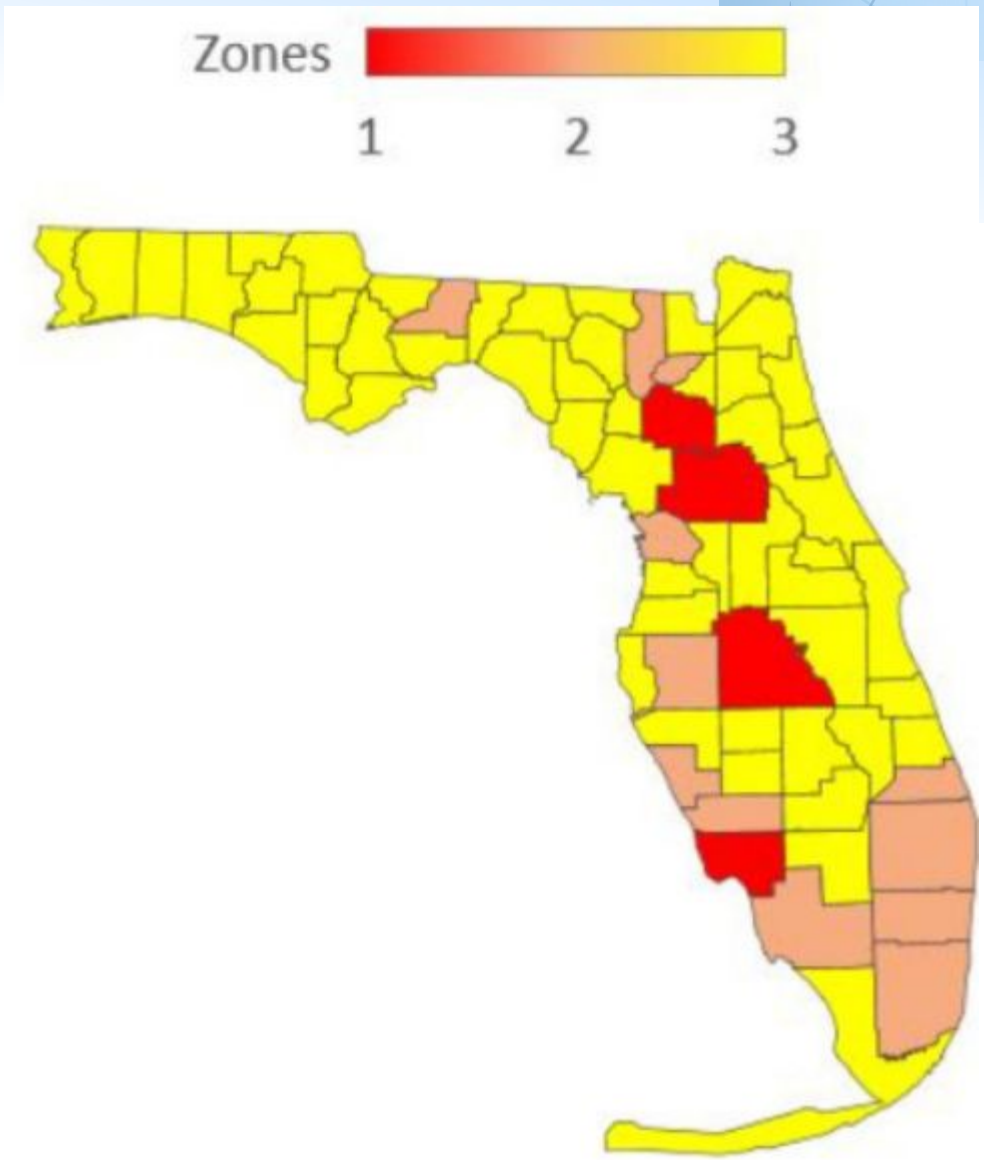


  - **Tipos de cimientos**: tipos de construcción de viviendas comunes en una zona, que pueden influir en los niveles de radón en interiores

Mapa de zonas de radón - EPA



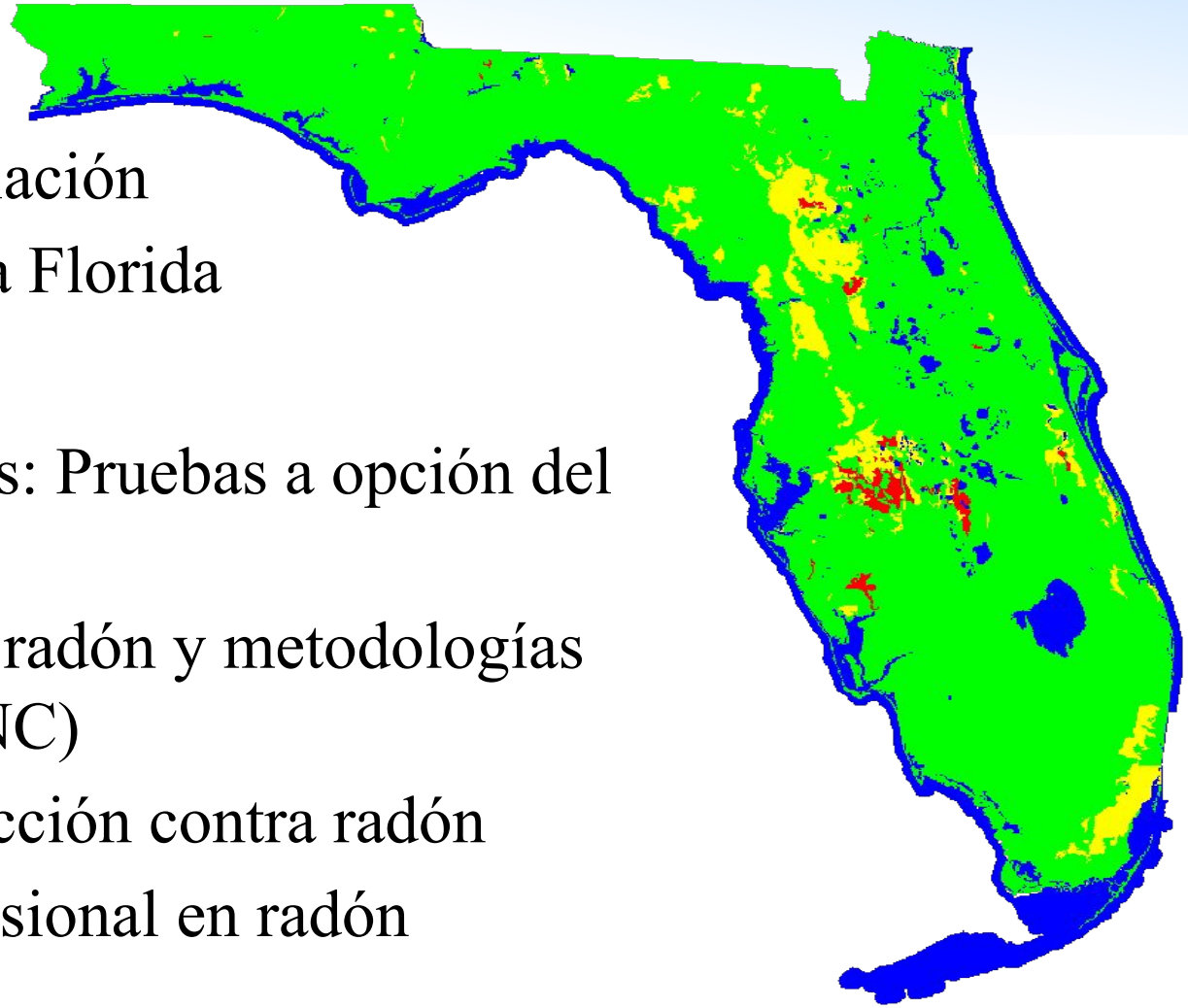
Source: US EPA



Radon potential zones from the Florida Department of Health [54].

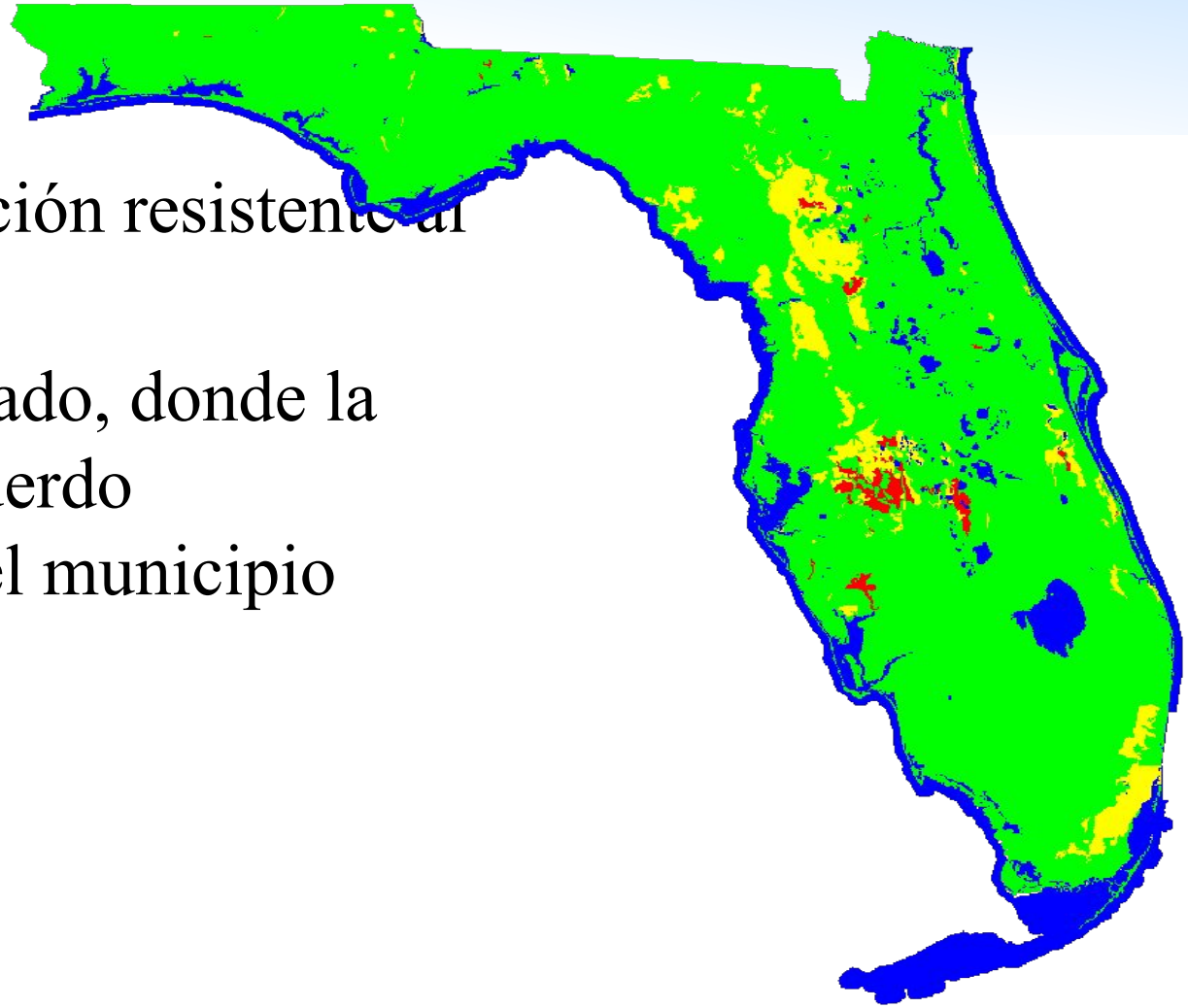
Radón en Florida

- 1986-1987
  - Estudio estatal sobre exposición a la radiación
  - Se descubrió problemas de radón en toda Florida
- 1989-1994
  - Requisito de divulgación de bienes raíces: Pruebas a opción del comprador o vendedor
  - Desarrollo de técnicas de mitigación del radón y metodologías de construcción resistente al radón (RRNC)
  - Desarrollo del Código estatal de construcción contra radón
  - Implementación de la certificación profesional en radón



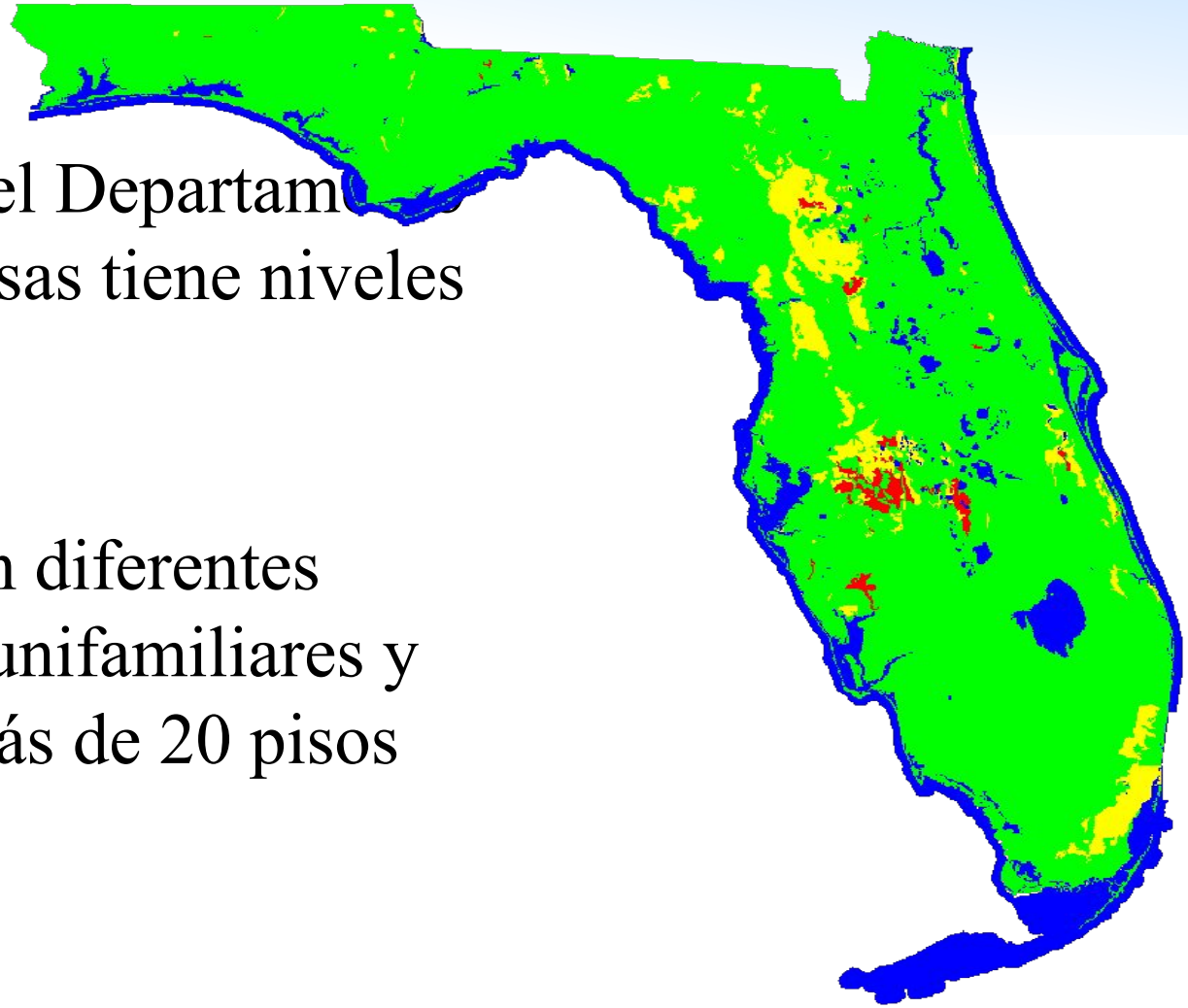
Radón en Florida

- 1994-1995
  - Desarrollo de una norma de construcción resistente al radón específica por región
  - RRNC, ahora es una opción del condado, donde la adopción se realiza a través de un acuerdo interinstitucional entre el condado y el municipio para el código de todo el condado



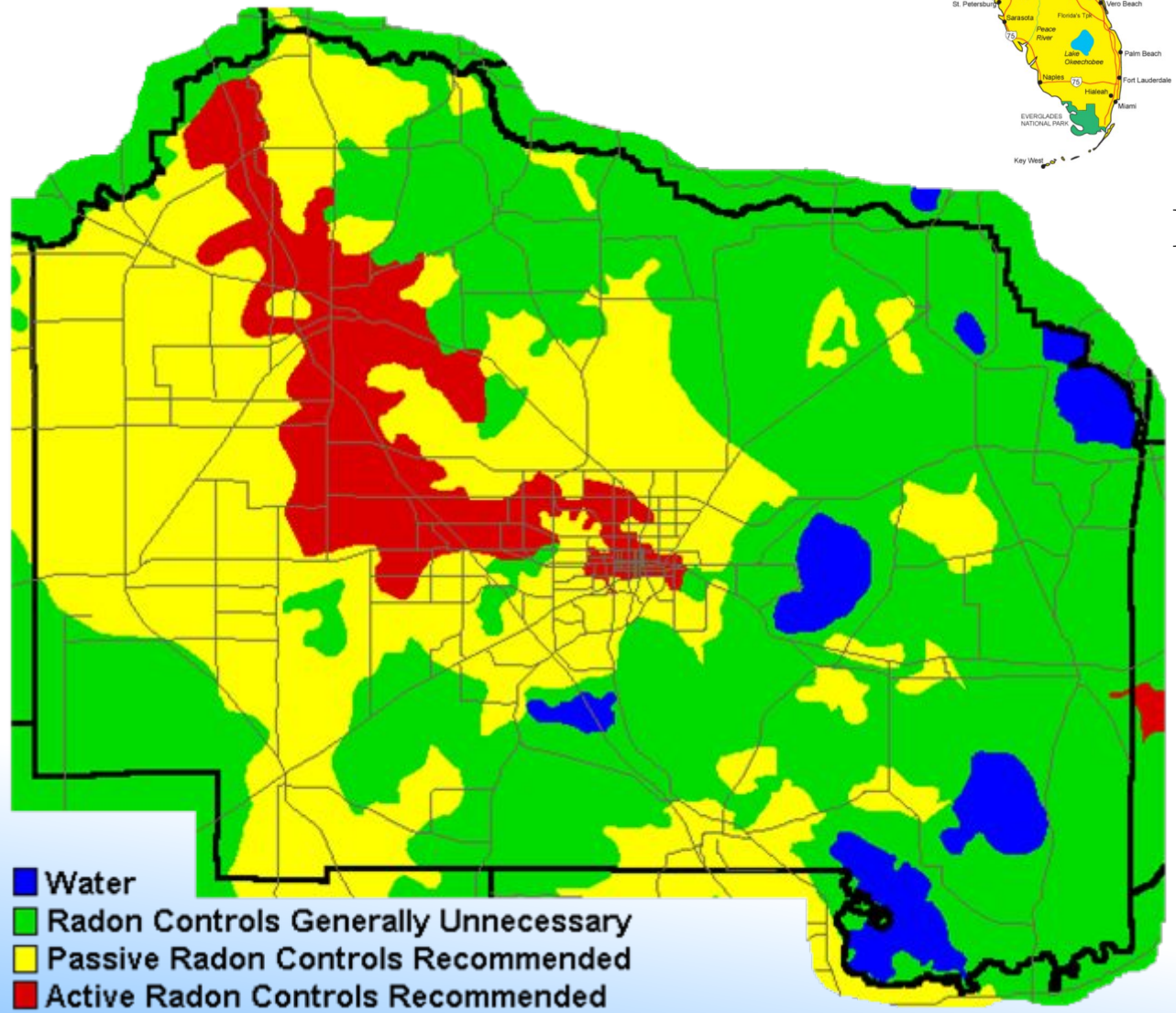
Radón en Florida

- Última información
  - De acuerdo con los datos del radón del Departam de Salud de la Florida, 1 de cada 5 casas tiene niveles elevados (EEUU 1 de cada 15)
  - Los niveles elevados se encuentran en diferentes tipos de estructuras, como viviendas unifamiliares y en condominios multifamiliares de más de 20 pisos



Radón en Florida





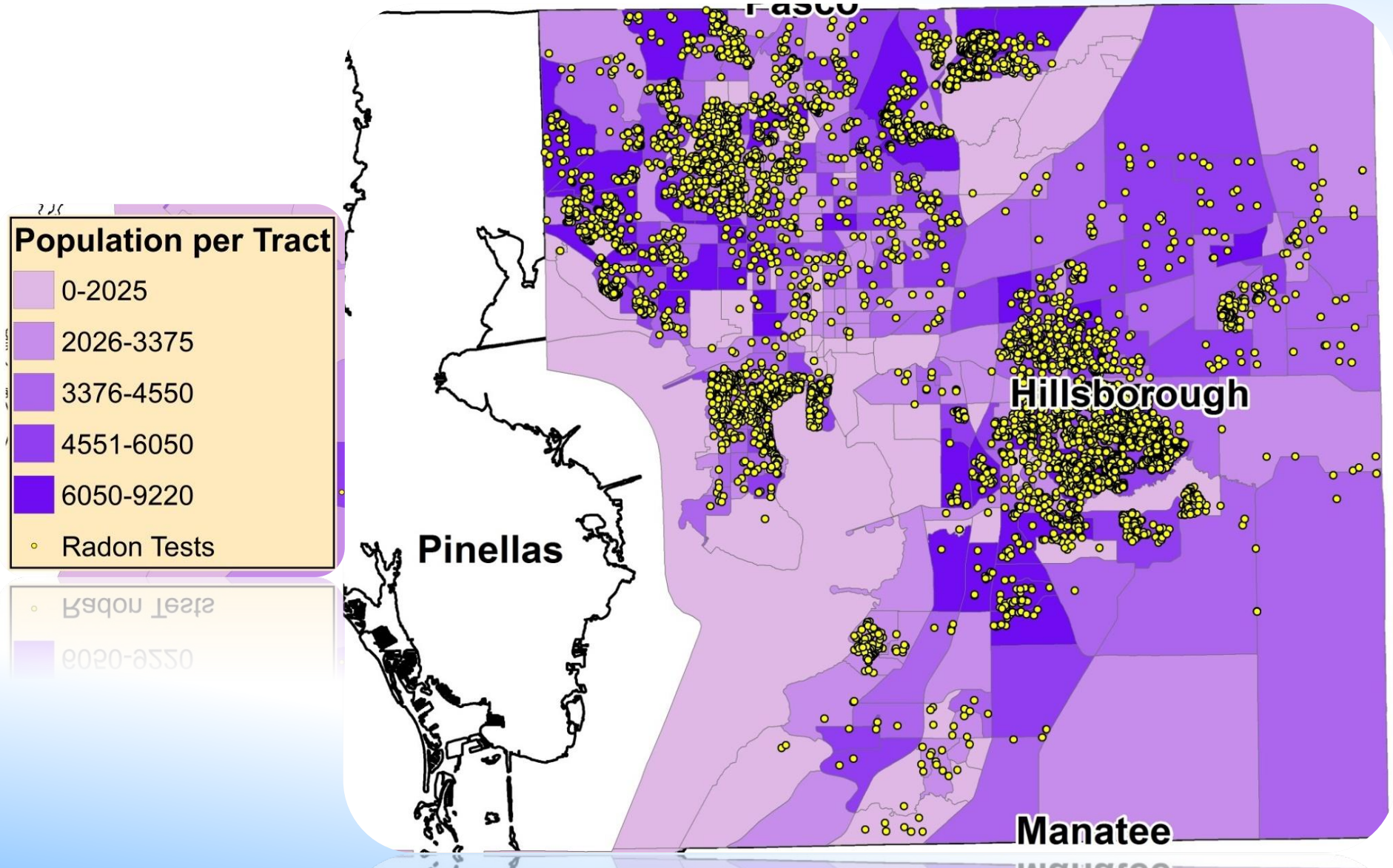
Datos sobre el radon

- Se encontraron niveles elevados en 1 de cada 5 hogares analizados (promedio nacional: 1 de cada 15, ~7 %)

Ejemplos

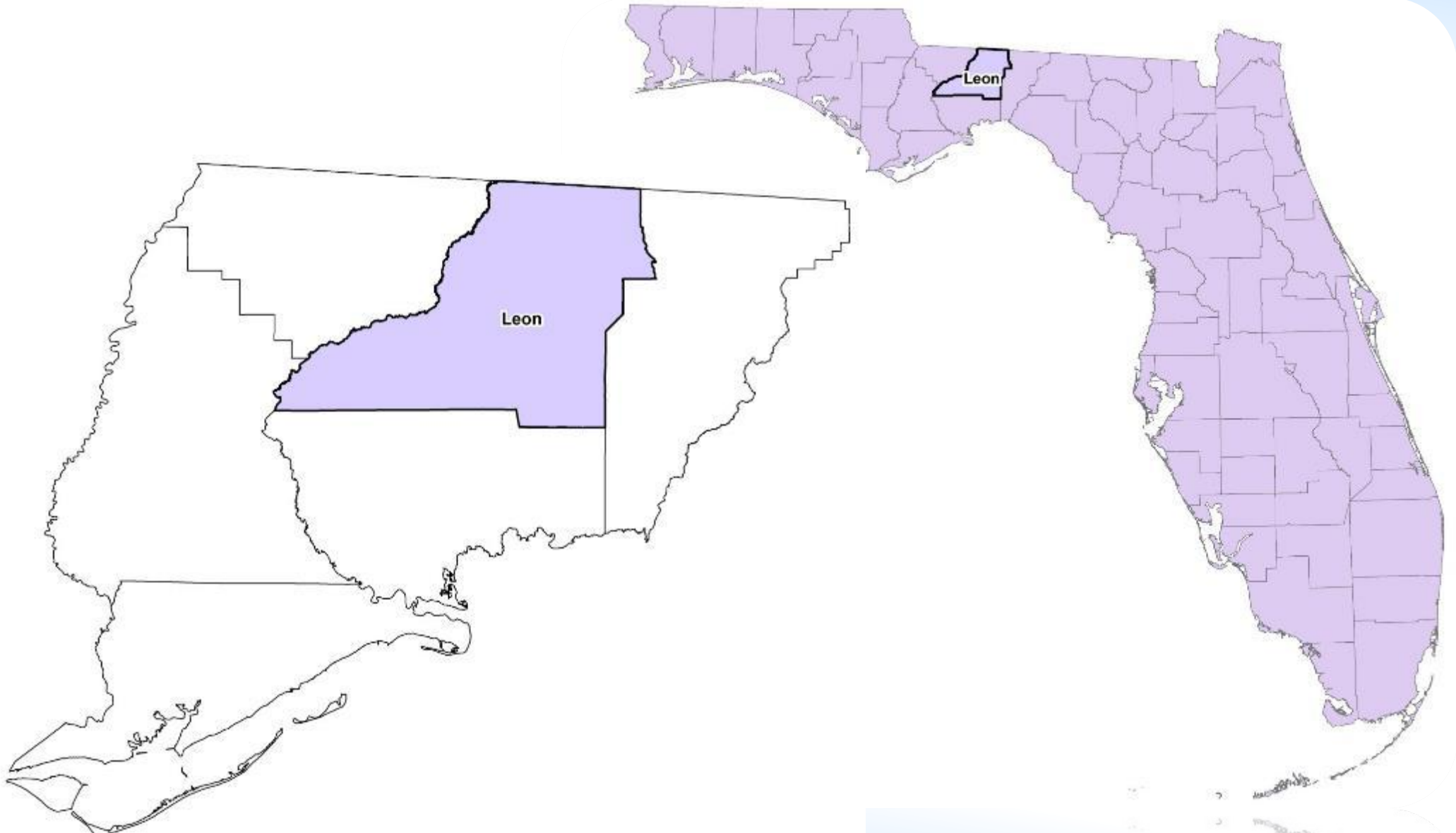
- Casa en Marion sobre losa a 9.700 Bq/m^3
- Condominio en Collier en Piso 11 @ 1000 Bq/m^3
- Apartamento en el Condado Leon @ 3812 Bq/m^3
- Casa en Miami-Dade @ 3120 Bq/m^3
- Escuela en Alachua @ 3000 Bq/m^3
- Apartamento St Lucie Apartment @ 515 Bq/m^3

Pruebas de radón y densidad de población en zonas de censo



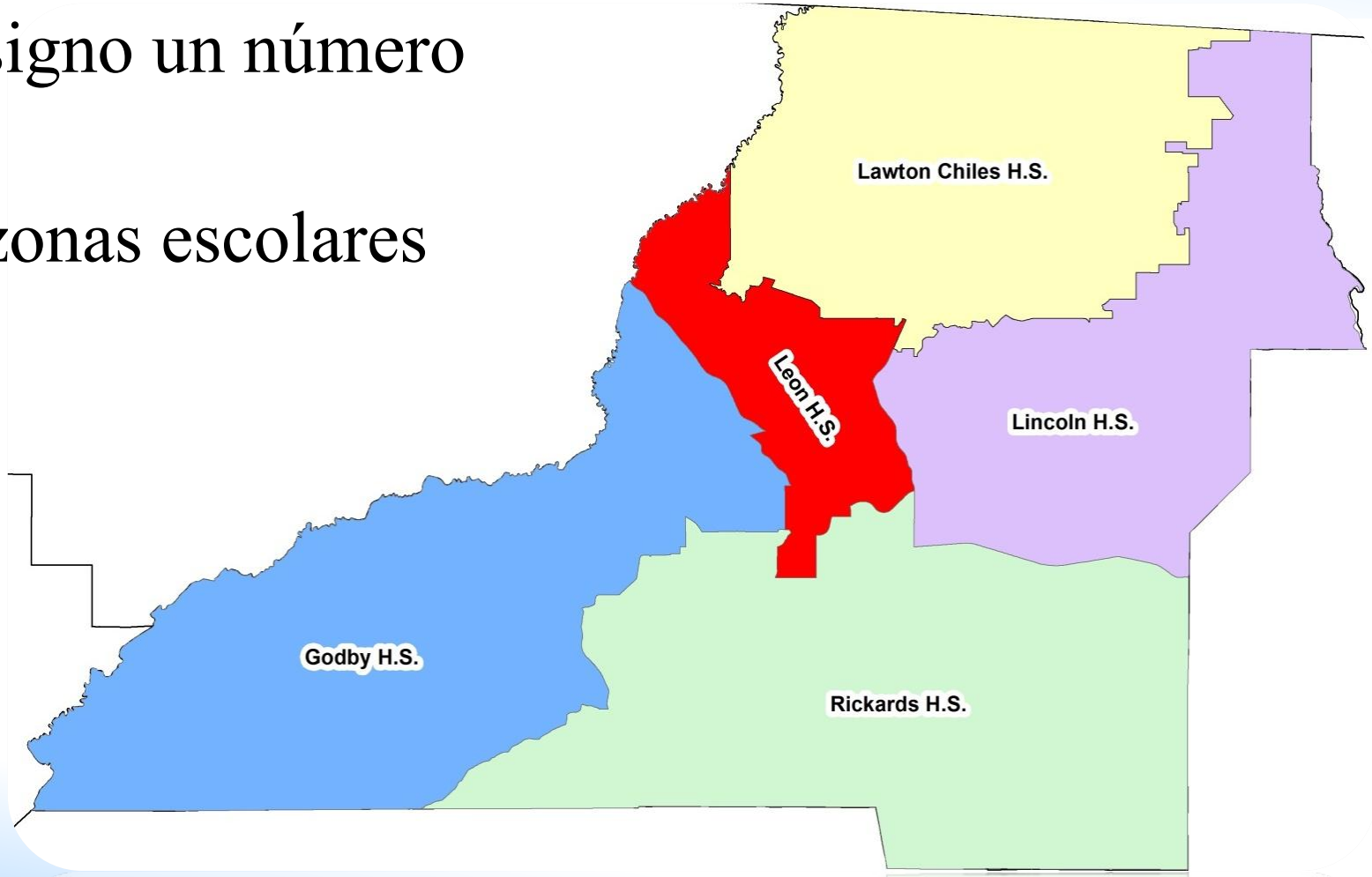


Área de estudio de pruebas aleatorias en el condado de Leon, Tallahassee, Florida

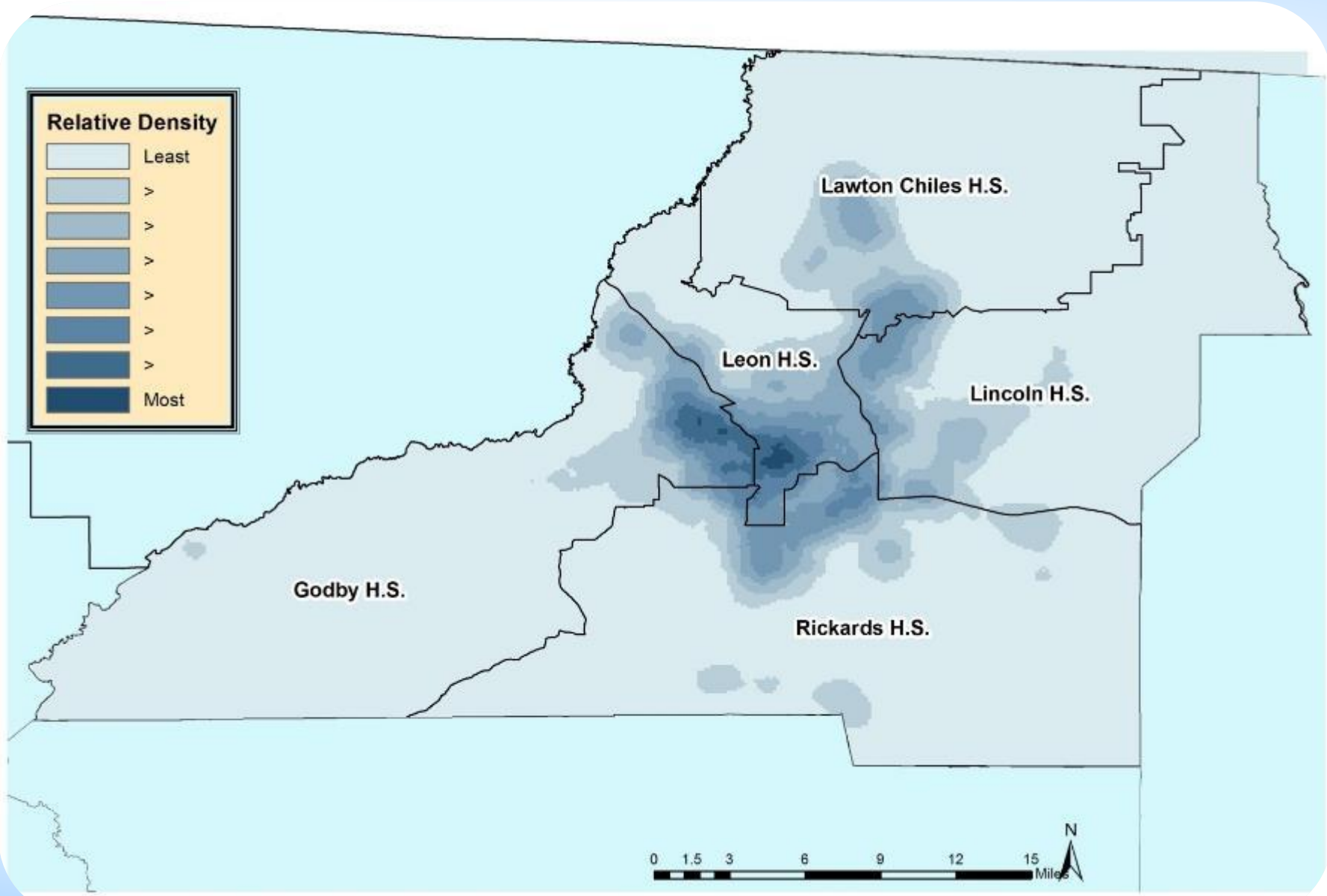


Métodos

- 107,687 parcelas residenciales
- A cada parcela se le asigno un número único
- Condado dividido en zonas escolares

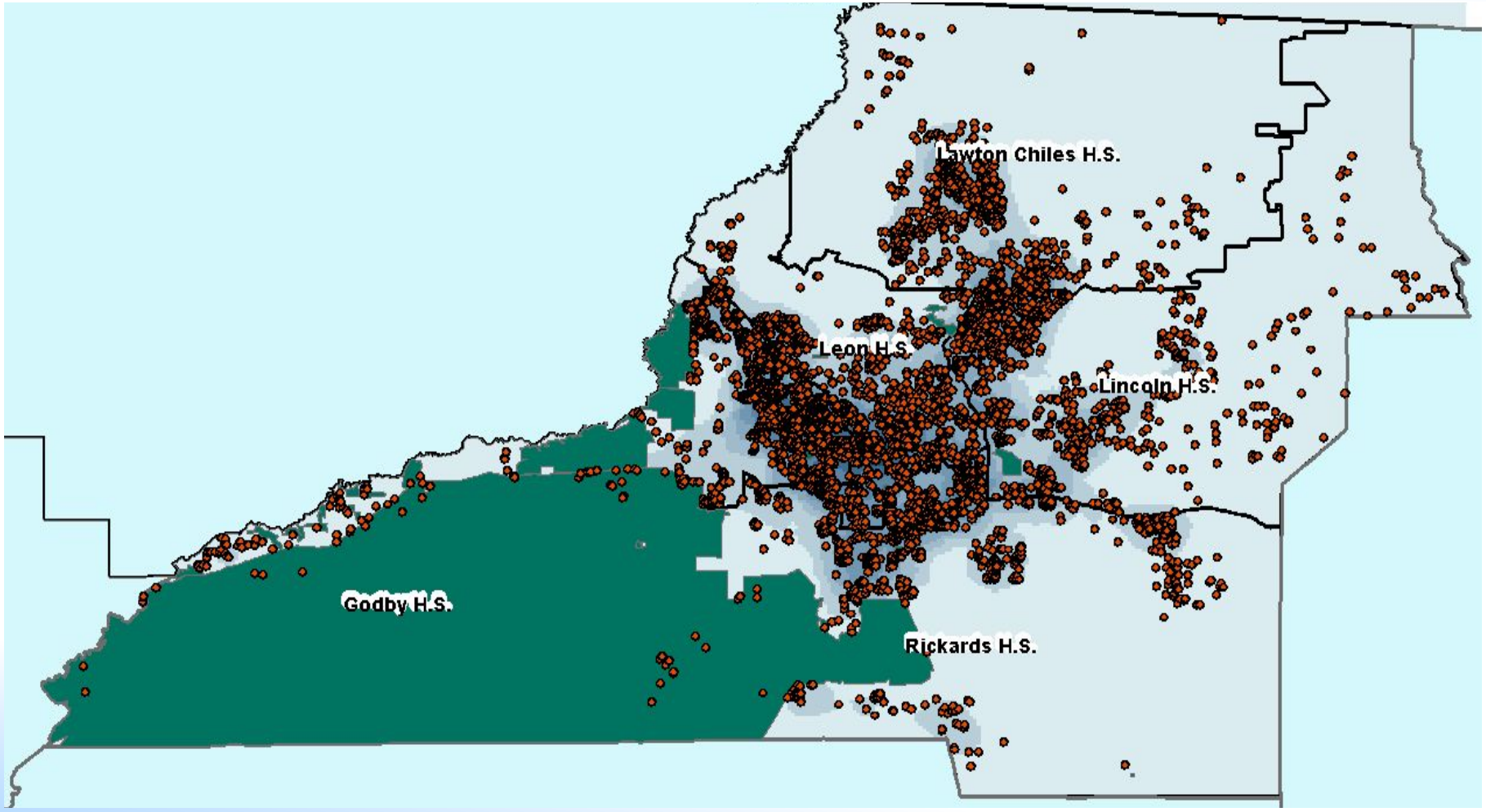


Densidad de parcelas unifamiliares

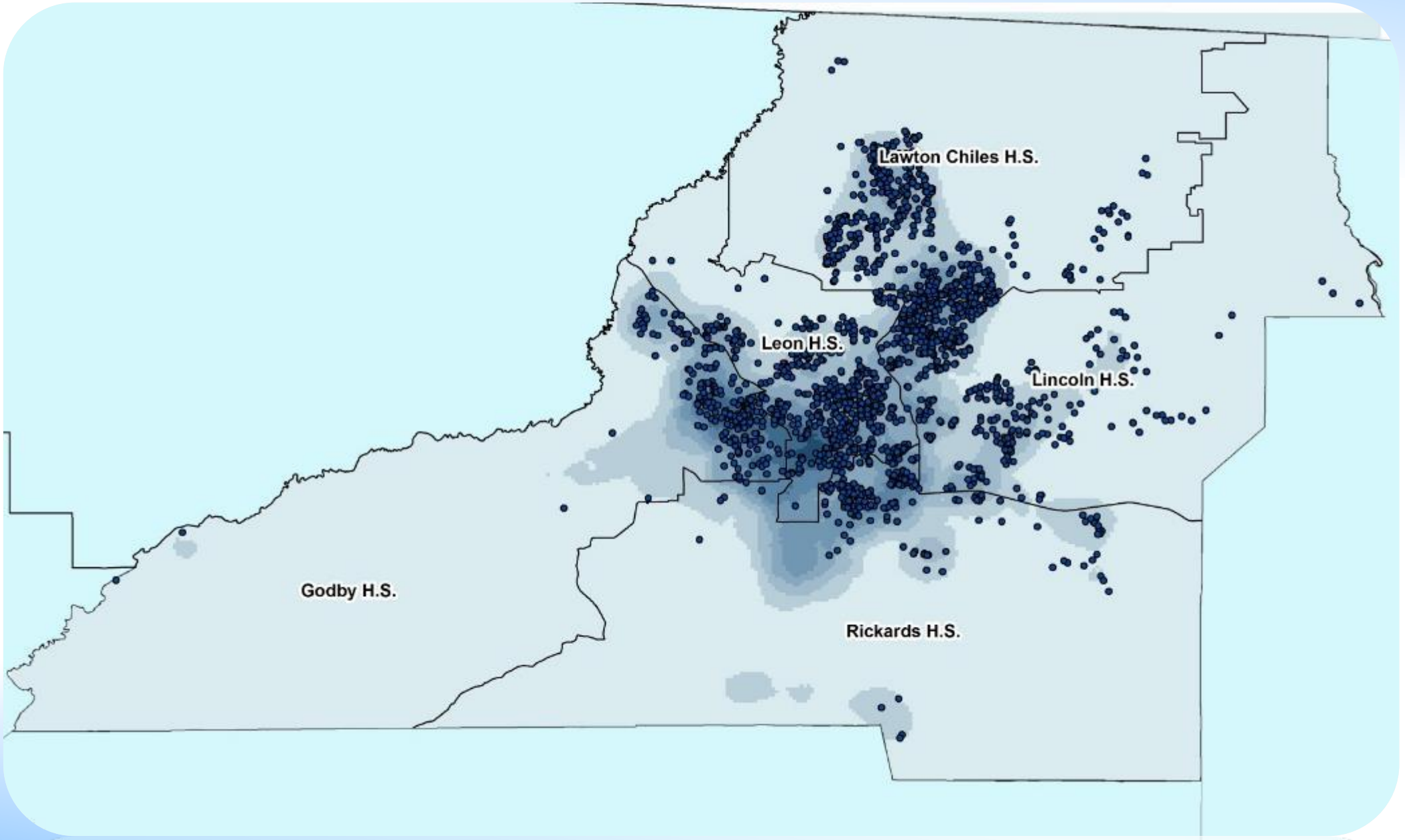


Cartas enviadas para el estudio

- Hogares seleccionados al azar que recibieron cartas de invitación (~6000 y como 1200 participaron)



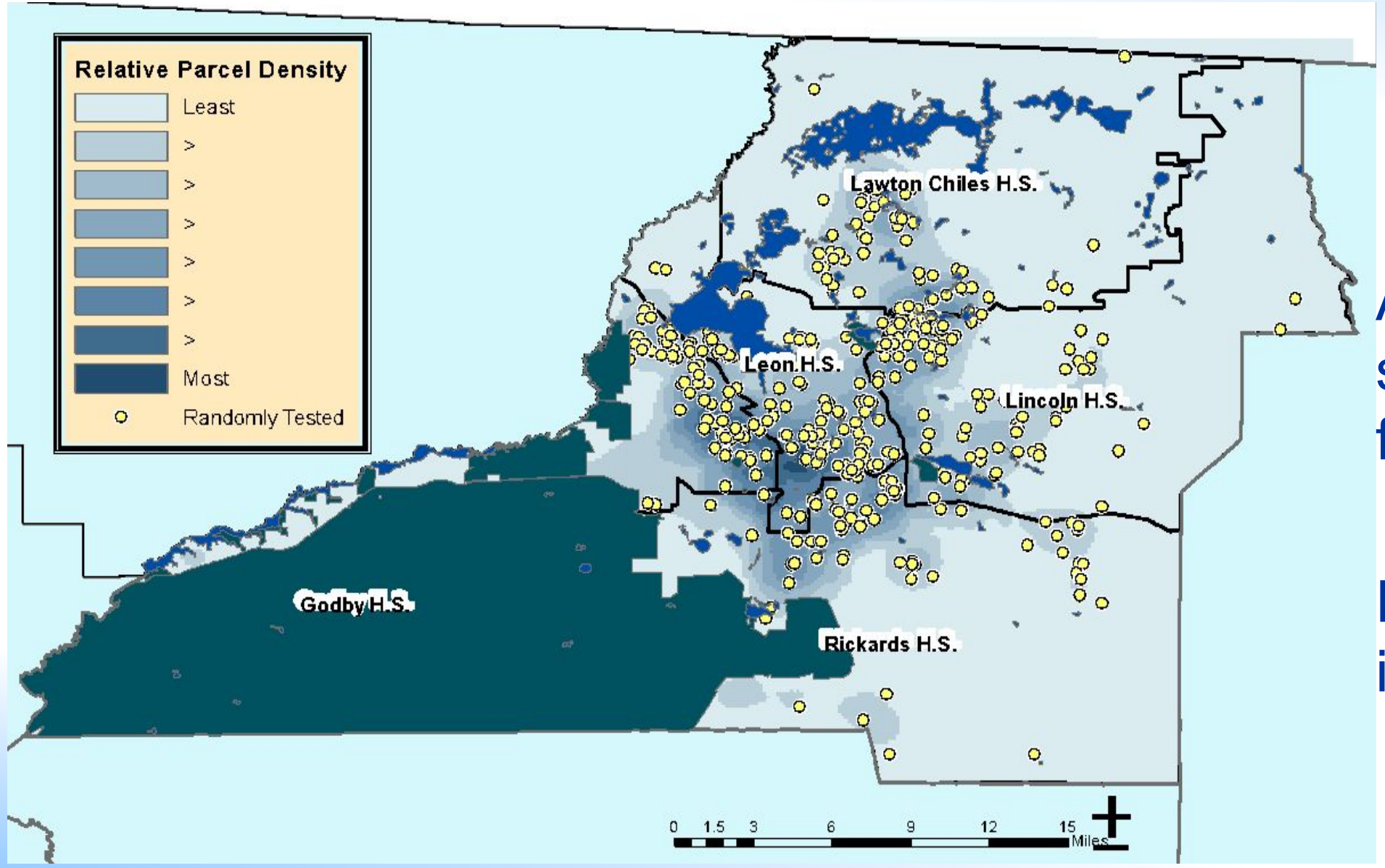
Datos de pruebas de radón autoseleccionados



Comparación de datos de viviendas unifamiliares

	Condado de León Florida	
	Datos seleccionados aleatoriamente Bq/m^3	Datos autoseleccionados aleatorios Bq/m^3
Promedio	100	115
Max	600	747
Min	15	15

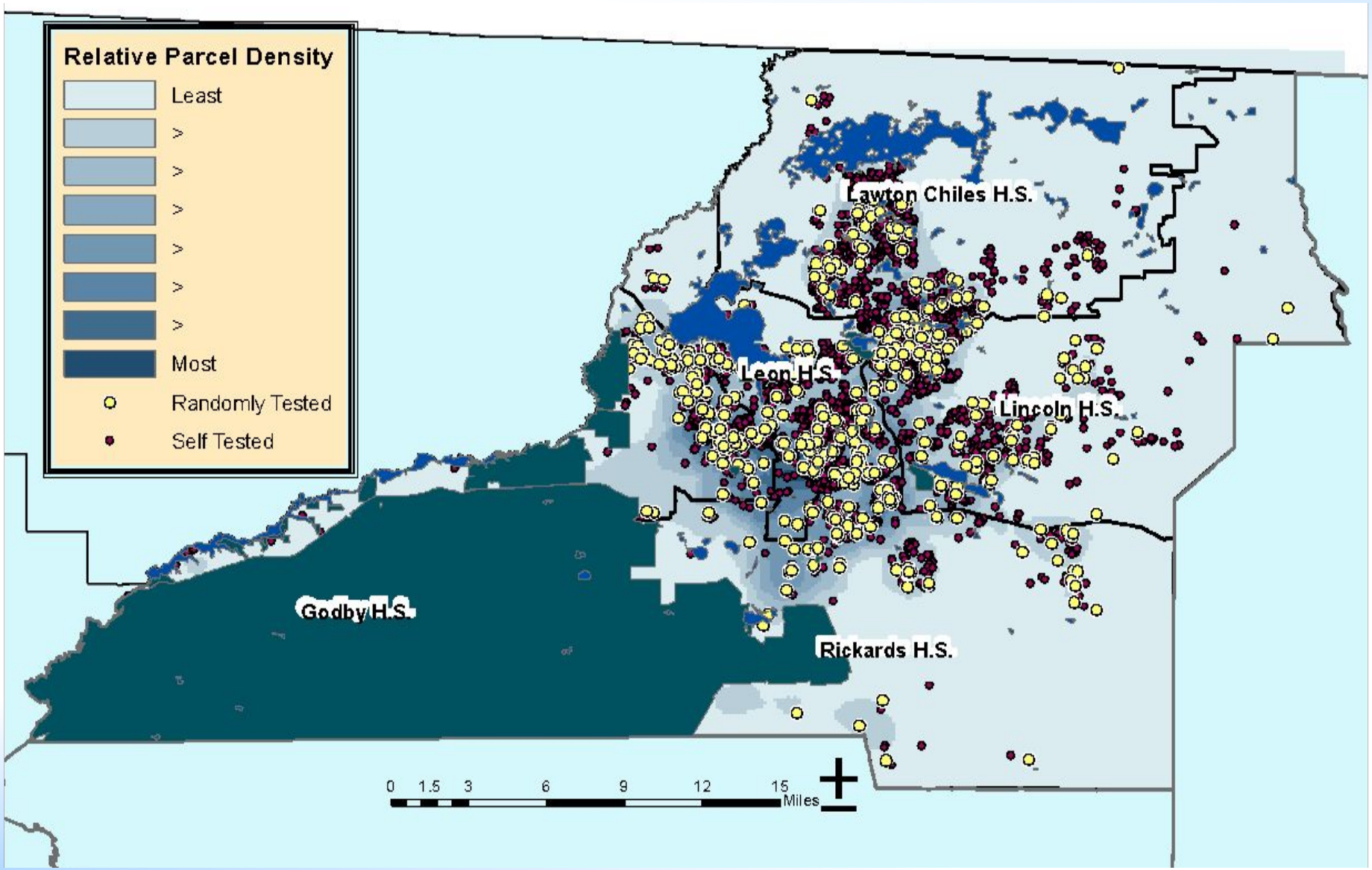
Casas unifamiliares probadas aleatoriamente



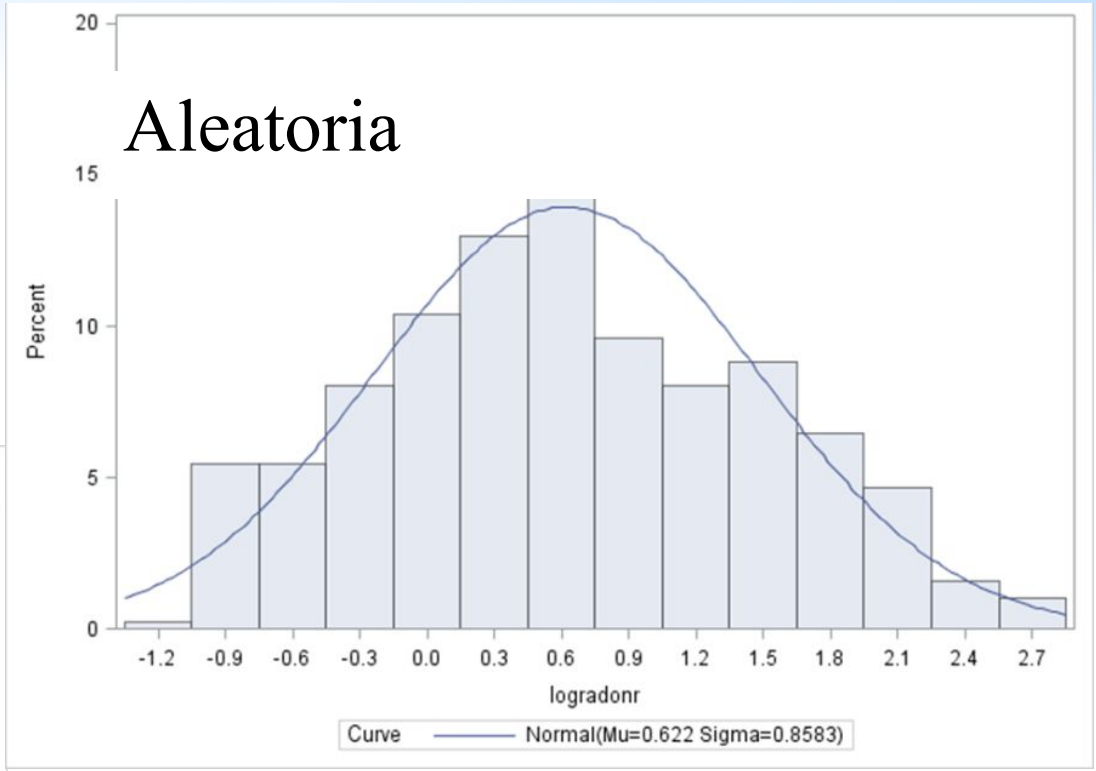
Algunos hogares seleccionados no fueron receptivos

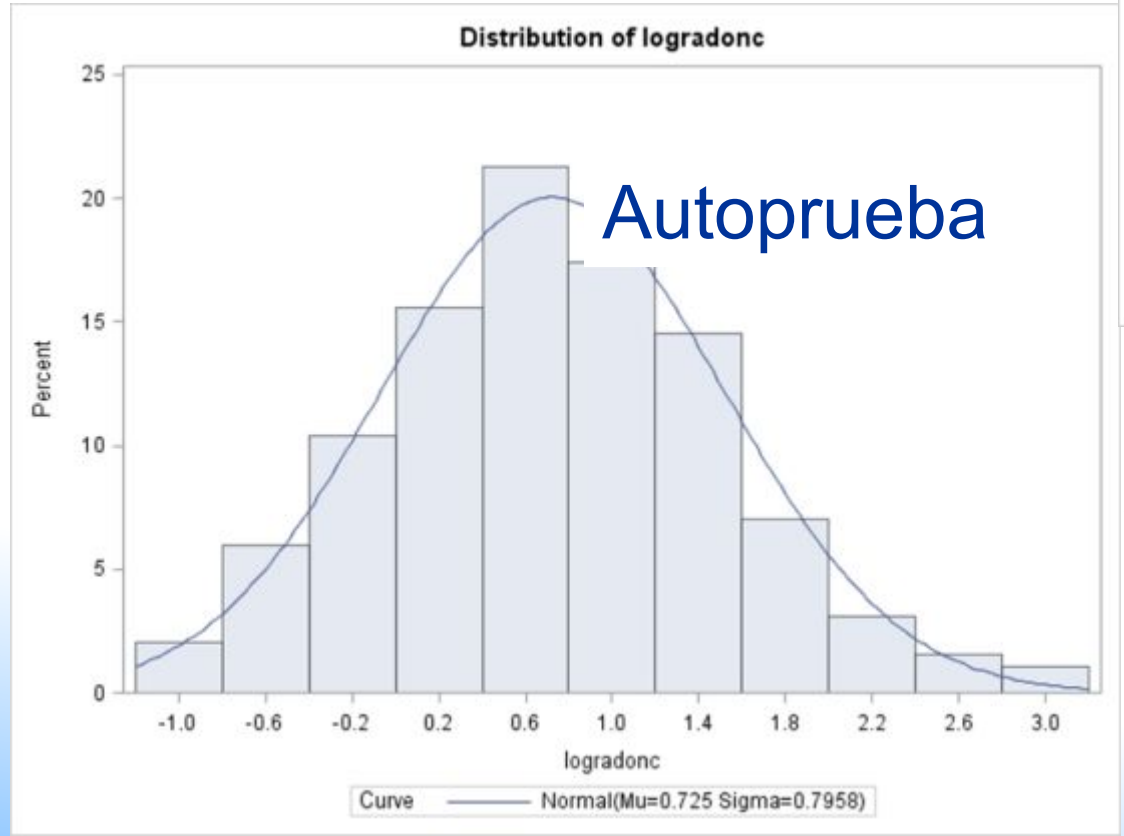
Enviamos varias invitaciones

Casas unifamiliares autoprobadas y las probadas aleatoriamente



Comparación de la distribución de datos

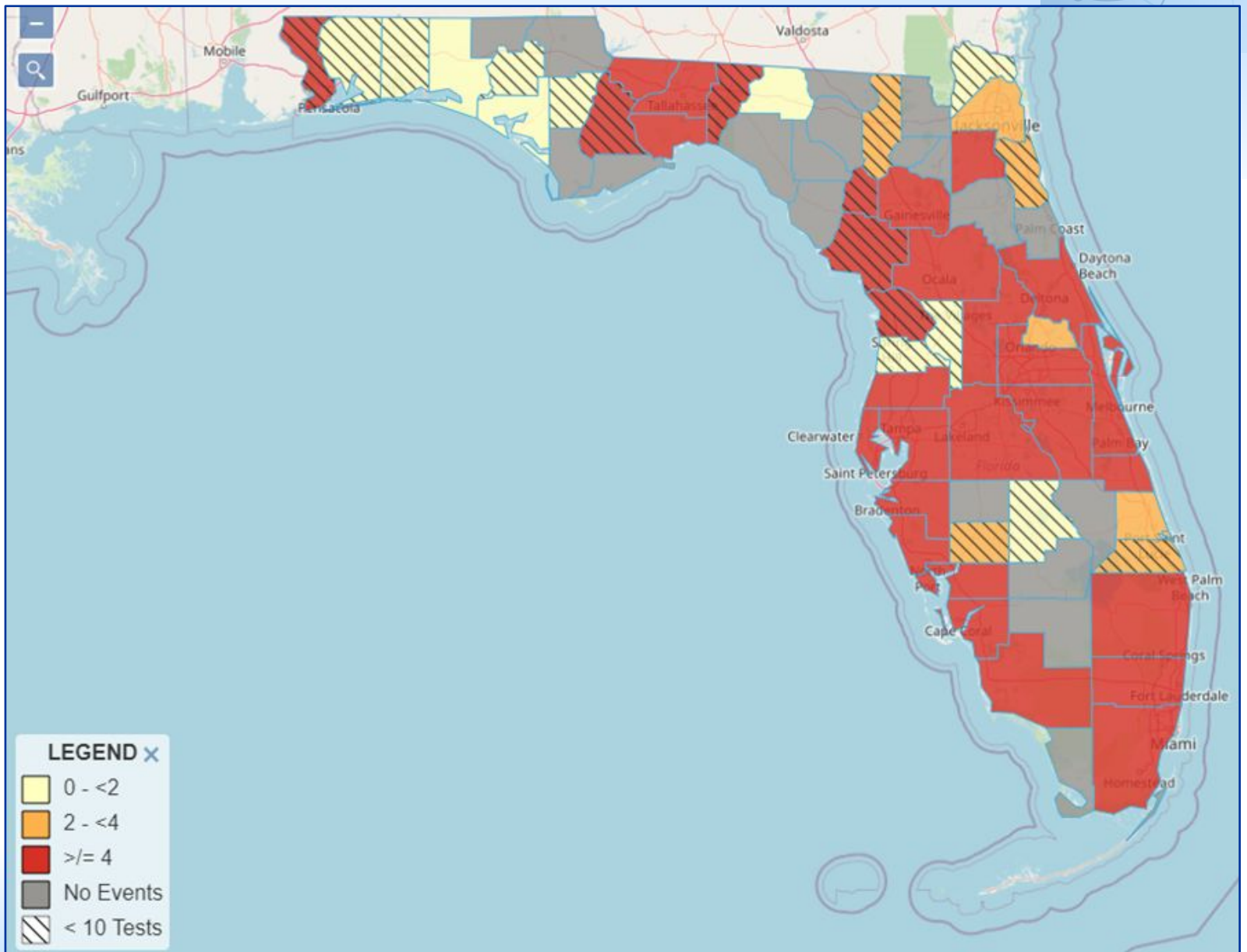




Los métodos paramétricos (normales) y no paramétricos (kernel) indican que los niveles logarítmicos de radón se distribuyen normalmente ($p > 0,05$)

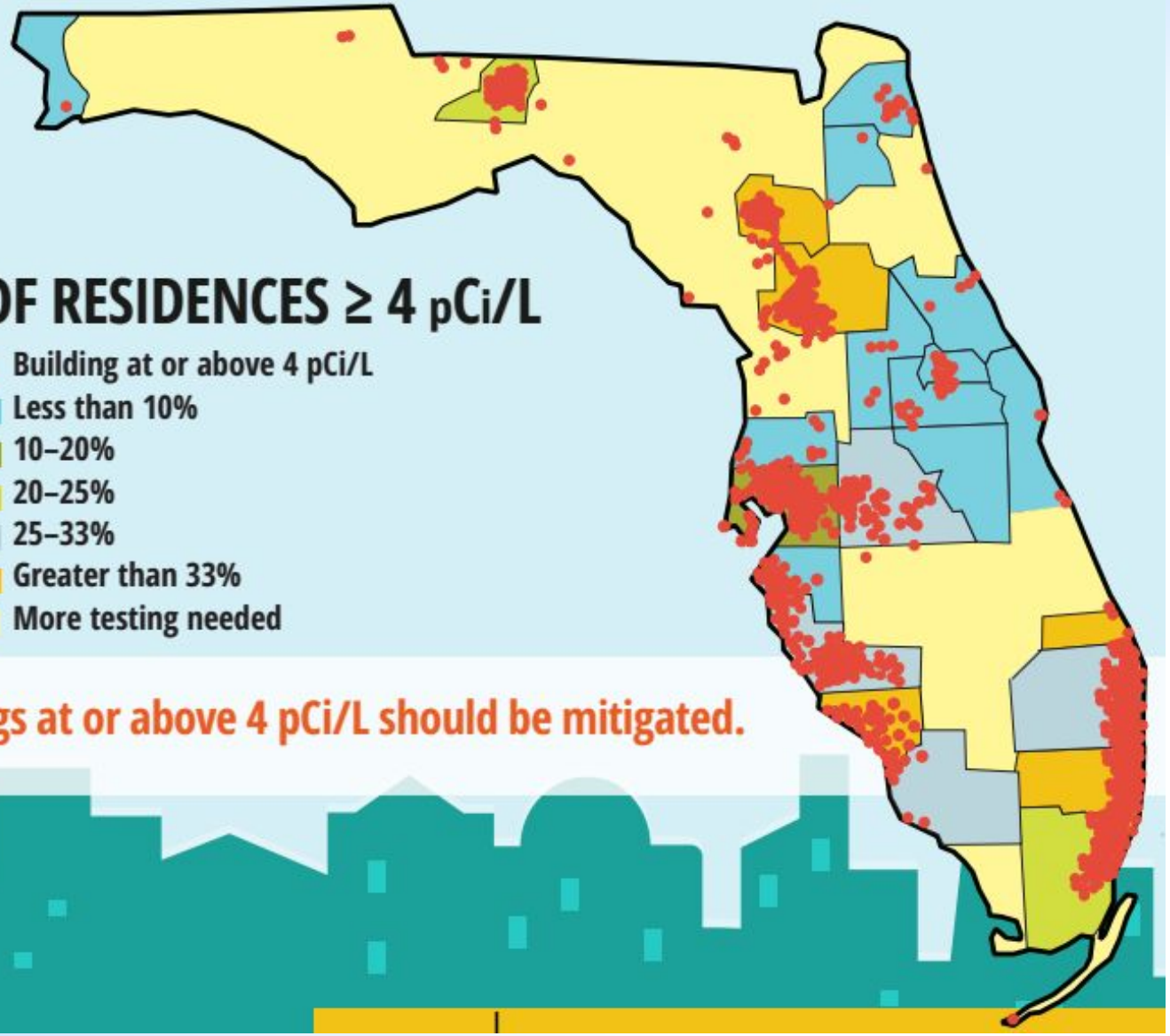
Radón en Florida

- Datos de 2020
- Nivel máximo detectado
- Datos de profesionales certificados



86
Rn
Radon
222

Radon Testing in Florida



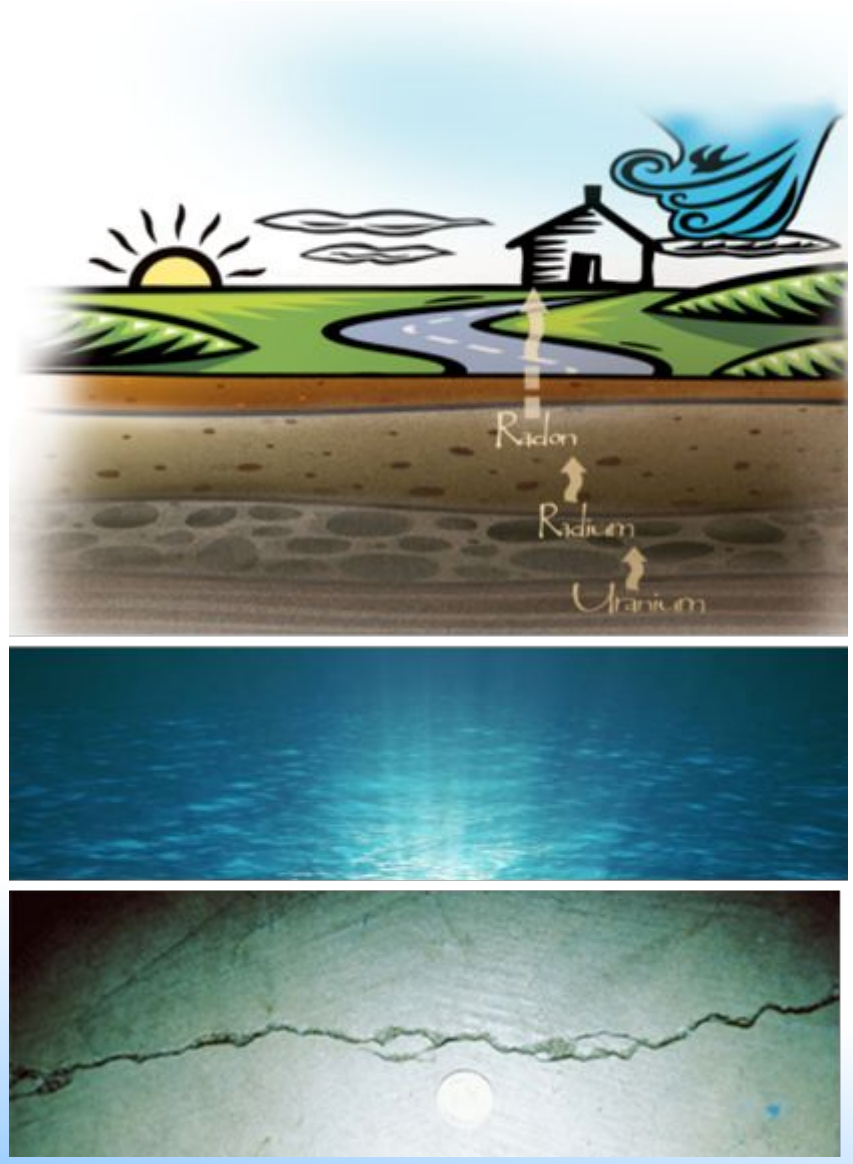
PERCENTAGE OF RESIDENCES ≥ 4 pCi/L

Radon is measured in picoCuries per Liter (pCi/L)

- Building at or above 4 pCi/L
- Less than 10%
- 10–20%
- 20–25%
- 25–33%
- Greater than 33%
- More testing needed

No radon level is safe: Buildings at or above 4 pCi/L should be mitigated.

¿Qué es necesario para tener radón en su casa?



- Fuente
  - Uranio y radio en el suelo; agua de poso, material de construcción
- Ruta
  - Porosidad del suelo
  - Grietas/aperturas de la Fundación (prevenirlas casi imposible, minimize el numero y tamaño)
- Fuerza motriz
  - difusión y convección
  - Presión barométrica, viento, lluvia

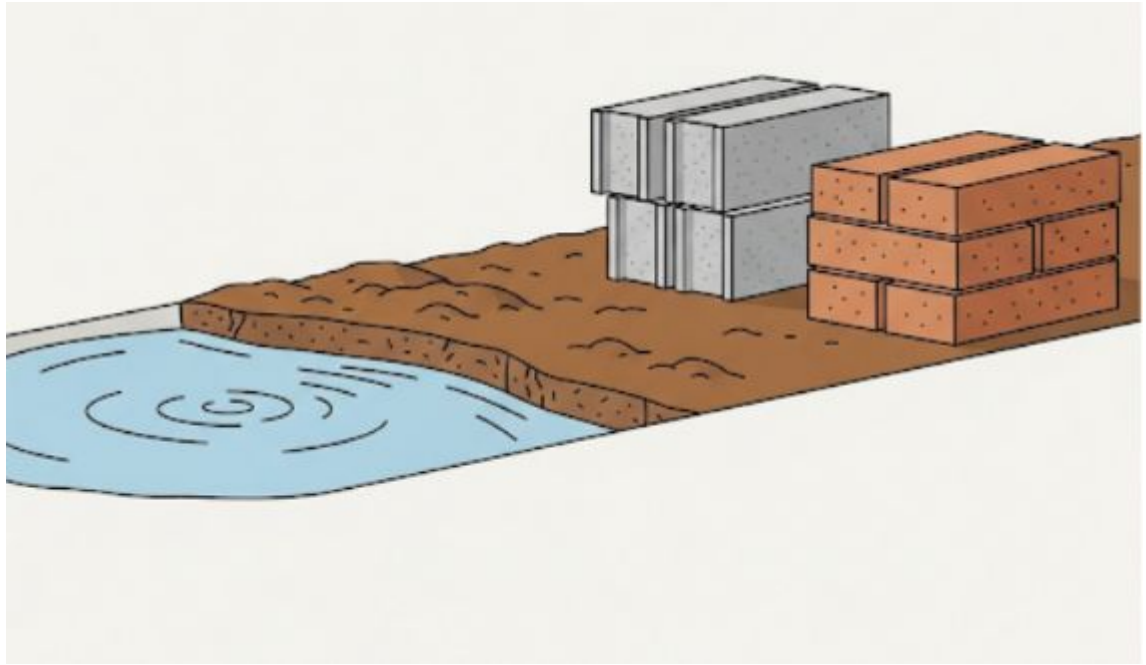
¿Qué es necesario para tener radón en su casa?

Una Estructura





Fuentes de Radón



- Suelos (uranio y radio) y depósitos ricos en elementos radiactivos
- Agua subterránea en contacto con radio (Rn disuelto - desorbido) – aguas geotérmicas
- Materiales de construcción puede tener radio (blue concrete)

Fuentes de Radón – Ruta por el Suelo

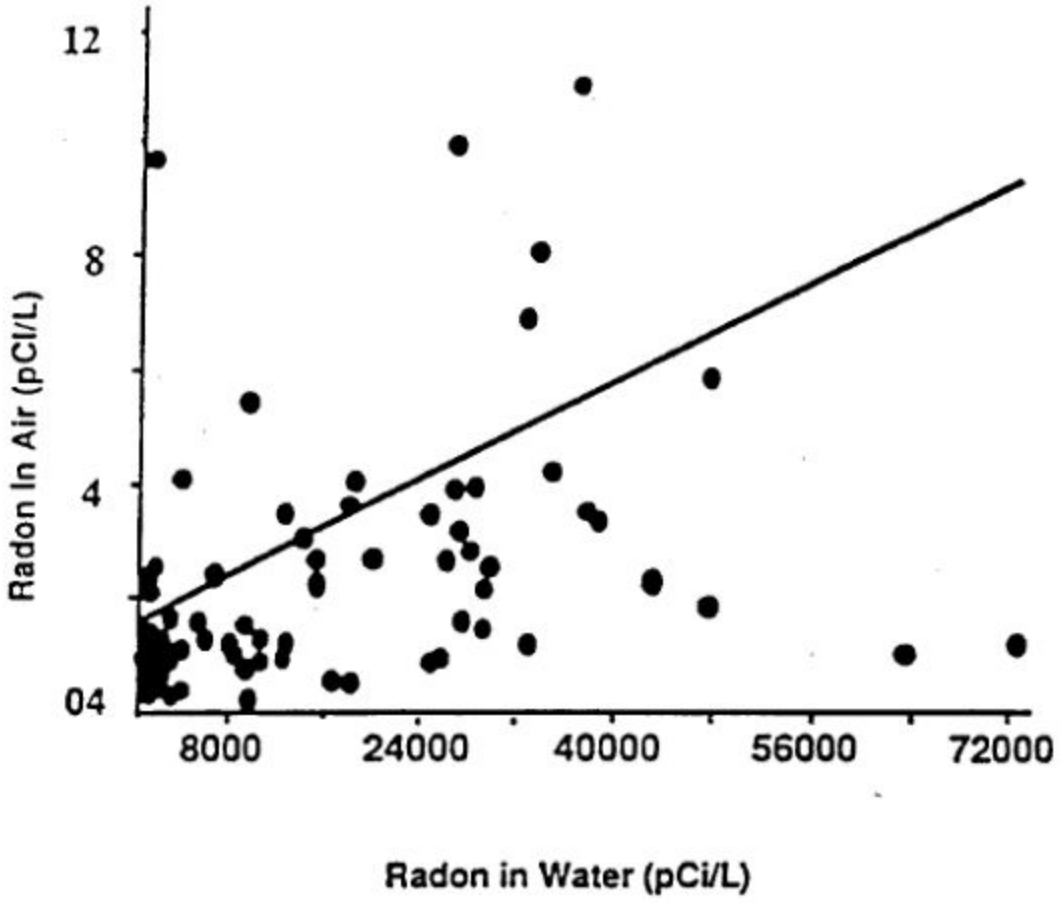
- El radón puede entrar a través de aberturas
- Grietas y juntas con anchos menores de 1,6 mm se deben reparar con aplicación de un material elastomérico capaz de soportar una extensión del 25 por ciento y extenderse a 100 mm más allá de la longitud y el ancho de la grieta
- El Cañón del Colca:

  El reino del cóndor!



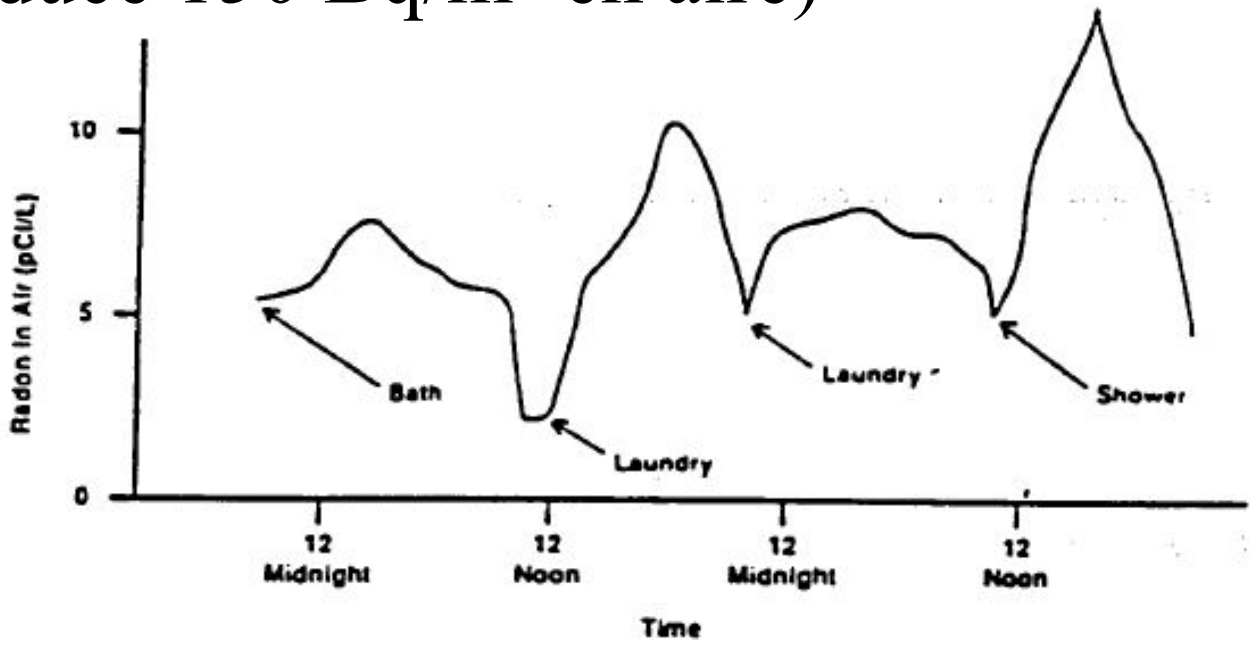


Fuentes de Radón – Ruta por el Agua



10,000 Bq/m^3 de radón en el agua producen 1 Bq/m^3 en aire

Necesitan niveles relativamente elevados de radón en el agua para producir niveles significativamente elevados en el aire (≥1,480,000 Bq/m^3 produce 150 Bq/m^3 en aire)



Fuentes de Radón - Material



- Encimera de granito no son peligrosas
  - Contienen ^{226}Ra elevado
  - Exhalación depende de las fisuras, grietas, etc
  - Baja permeabilidad

Fuentes de Radón - Material

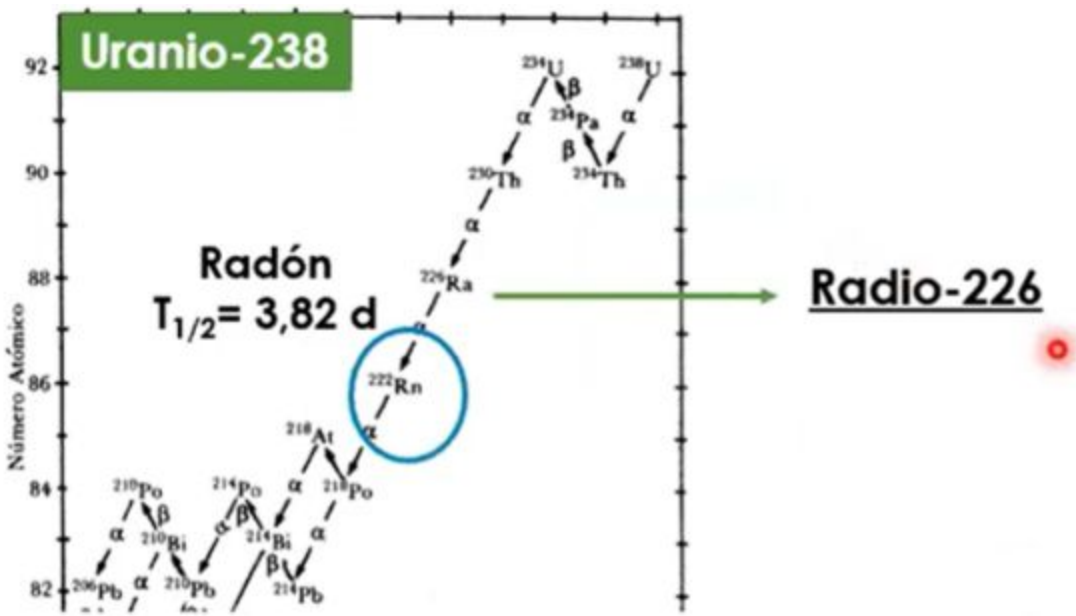


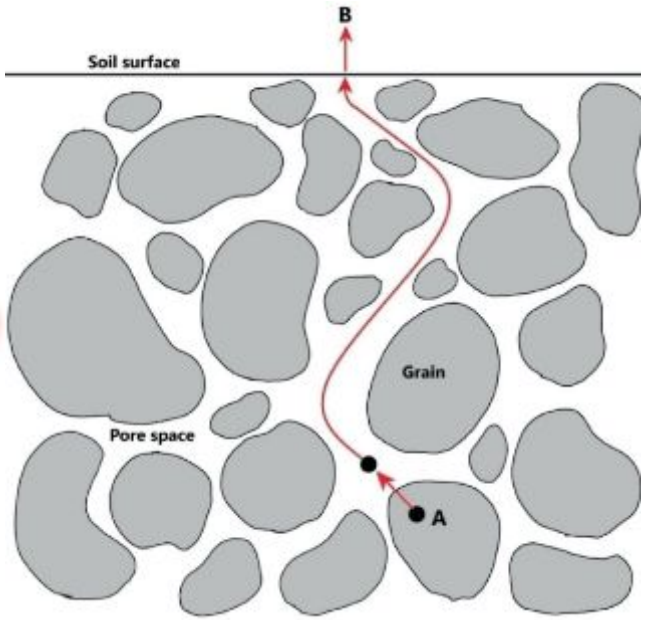
- Encimera de granito…
  - Factor de emanación muy bajo
    - Suelo ~ 40-50 Bq/m^2/hr
    - Granito ~ 3-5 Bq/m^2/hr
    - Si se quiebra o tritura aumenta el factor de emanación – Cuanto menor sea el tamaño mayor será la emanación

Movimiento de Radón

- **Radio 226** se desintegra y los átomos de Rn escapan del suelo/roca e ingresan al espacio poroso (gas/agua)

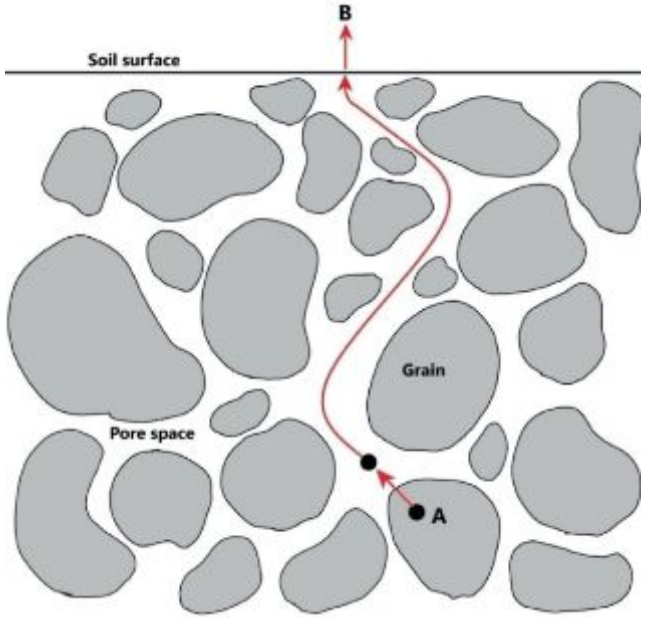
- Radon se disuelve en agua y es transportado a distancia
- Gas viaja a través de fallas hasta la superficie





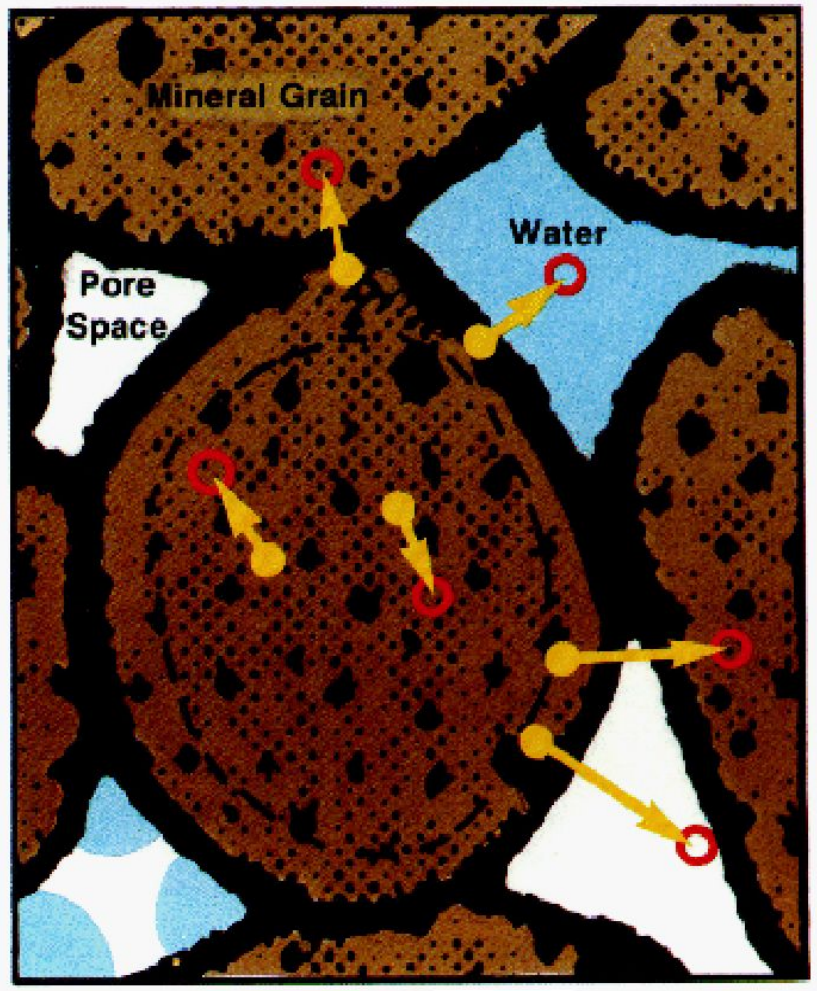
Movimiento de Radón

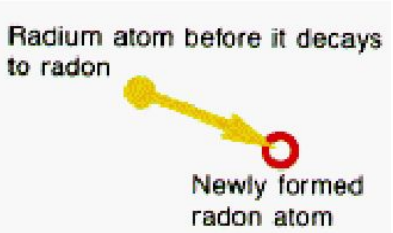
- **Emanación** - proceso donde el radón, **se libera del material** sólido, por la **desintegración** radiactiva del **radio** (se encuentra en rocas, suelo y materiales de construcción). Cuando un átomo de radio se desintegra, expulsa un átomo de radón que puede escapar del suelo hacia los espacios porosos
- **Exhalación** - proceso por el cual el **radón emanado** se mueve desde el suelo hacia la **atmósfera**, impulsado principalmente por los mecanismos de **difusión y advección** (cambios de presión)

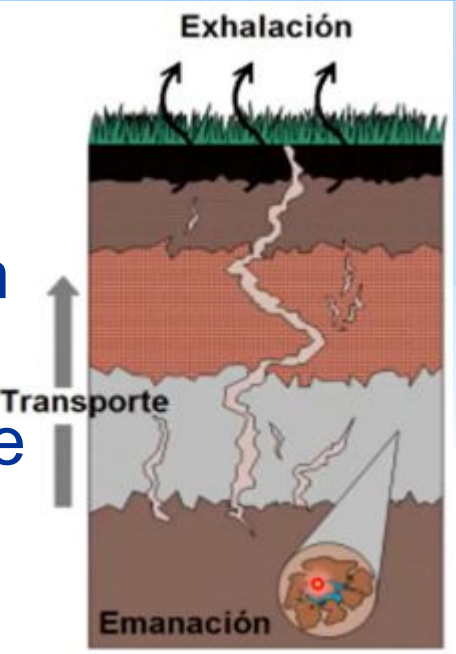


- **Emanación** es el paso donde el radón se **genera** de un elemento sólido a un gas. **Exhalación** es el paso donde este gas se **transporta** desde los poros a la superficie y luego al aire

Movimiento de Radón - Emanación





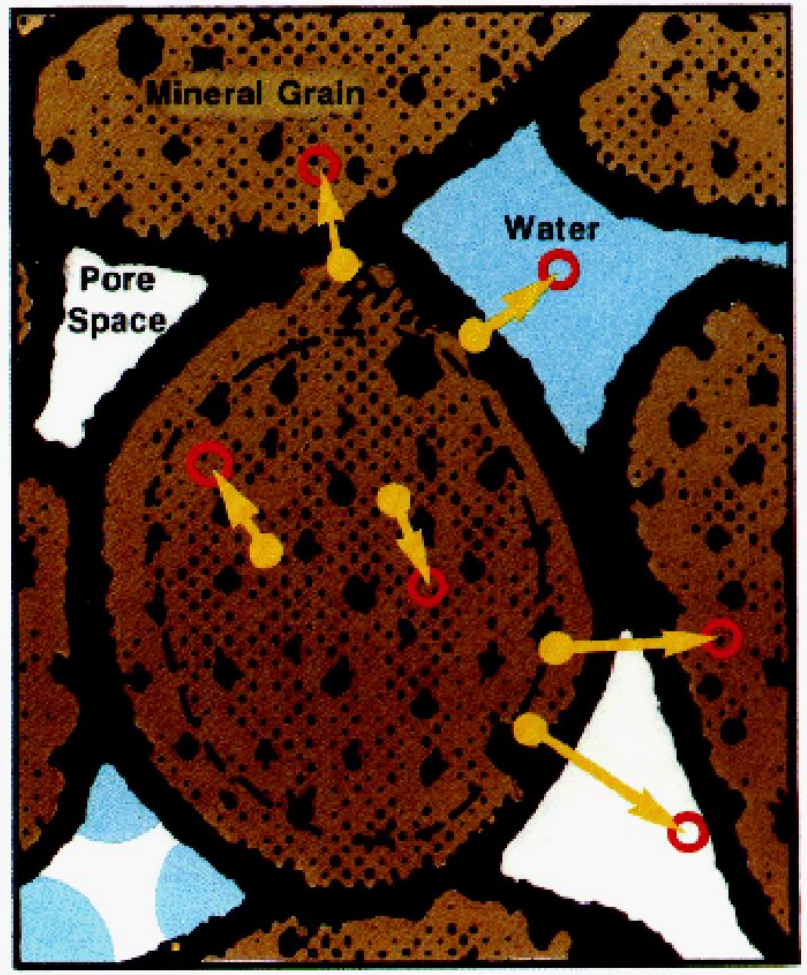


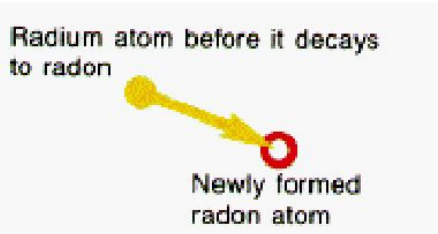
- La mayor parte del radón producido dentro de un grano mineral permanece incrustado en el grano
- Solo 10-50 % escapa para ingresar al espacio de poro

- Si la **humedad** está presente en los espacio, el átomo de radón puede permanecer fácilmente en los espacio de los poros
- Si hay demasiada **agua** en el suelo, el gas puede quedar atrapado en el agua

http://pubs.usgs.gov/gip/7000018/report.pdf

Movimiento de Radón - Emanación



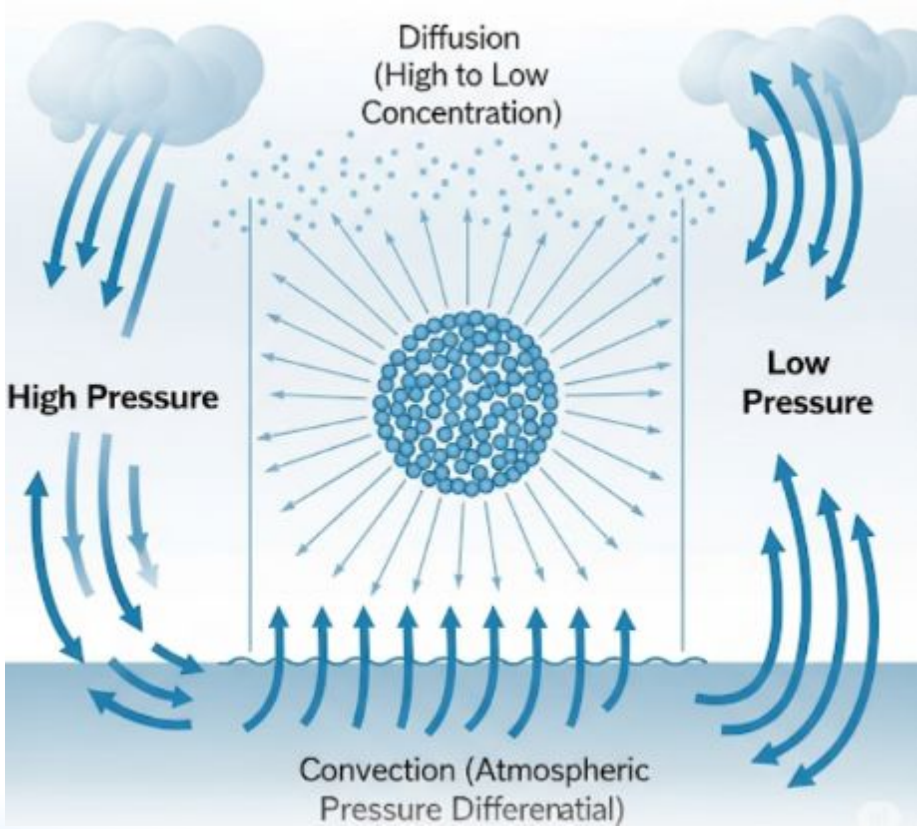


- **Emanación** - proceso de liberación de **radón** de sólidos
- **Exhalación** - proceso de liberación de **todos** los **gases** de estructuras geológicas

- Si el espacio de los poros está **seco**, el átomo de **radón** se puede **mover** a través del poro e incrustarse en otro grano donde no se puede mover, o puede entrar a una estructura
- El problema es cuando entran y se acumulan en una estructura o edificio

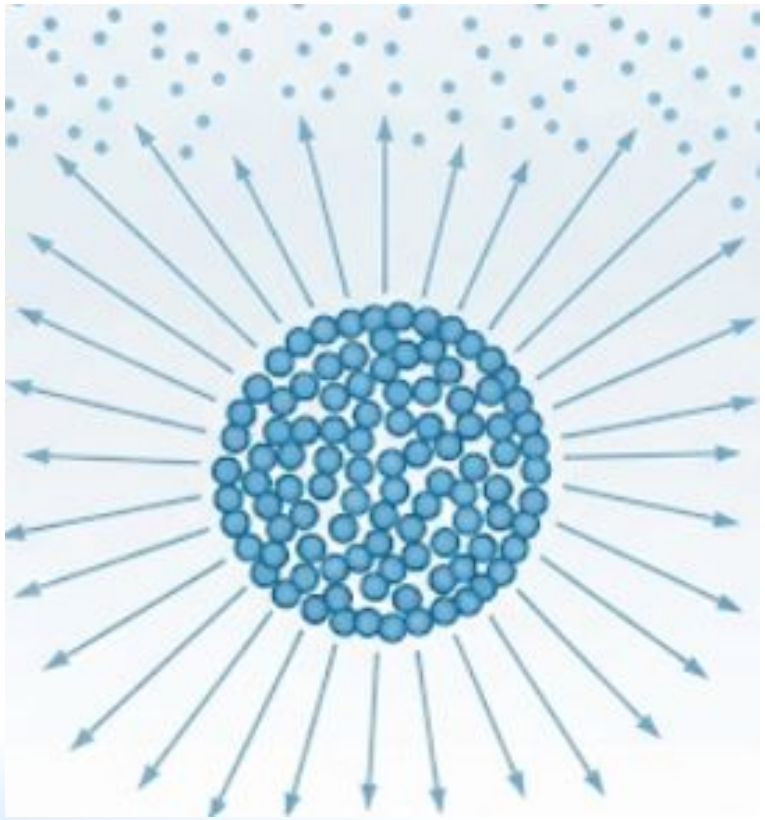
http://pubs.usgs.gov/gip/7000018/report.pdf

Transporte de Radón



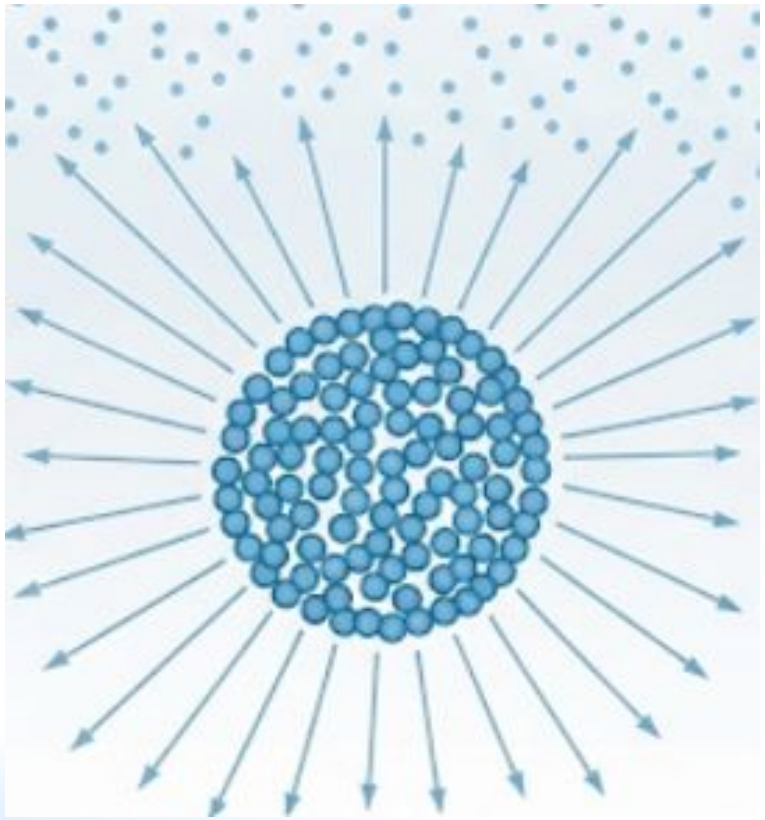
- **Difusión** de mayor a menor concentración
- **Convección o Advección** es por diferencia de presiones por diferencia de temperatura
  - La **presión atmosférica** estándar **101 mil pascales**
  - **Radón** necesita una diferencia de **5 Pa** para moverse
  - Δ temperatura -> Δ presión

Transporte de Radón - Difusión



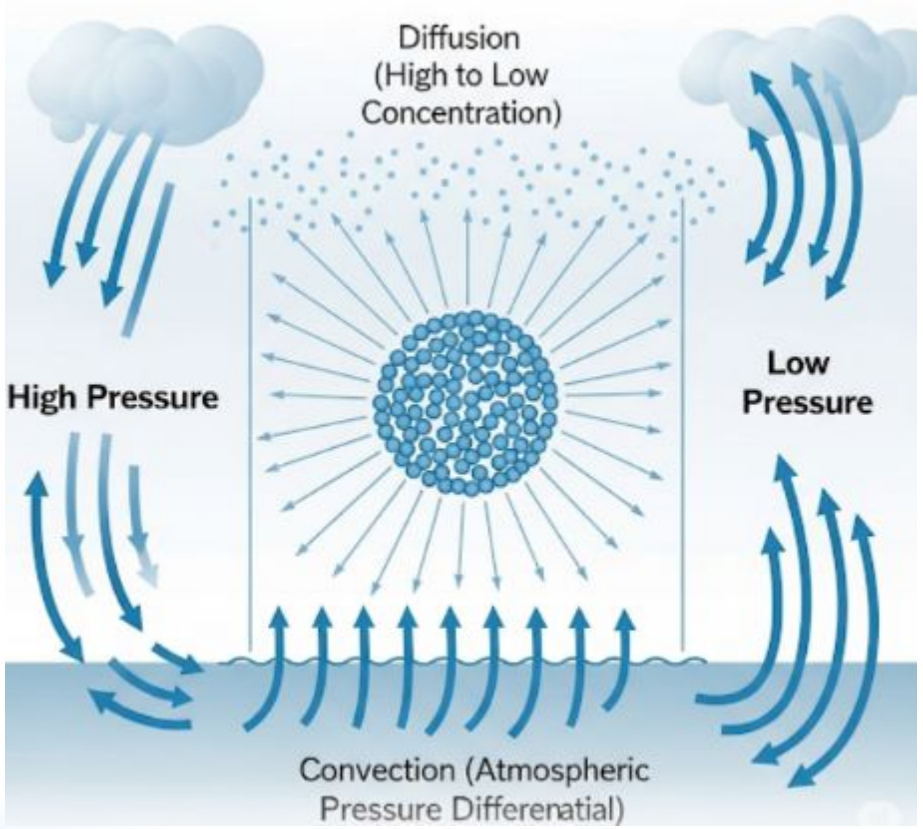
- Movimiento aleatorio de las moléculas de partículas (radón) desde una zona de alta concentración hacia una de baja concentración
- Mecanismo
  - Se produce en los poros por descomposición del radio
  - La concentración en los poros aumenta
  - El radón se mueve a través de los poros para equilibrar su concentración

Transporte de Radón - Difusión



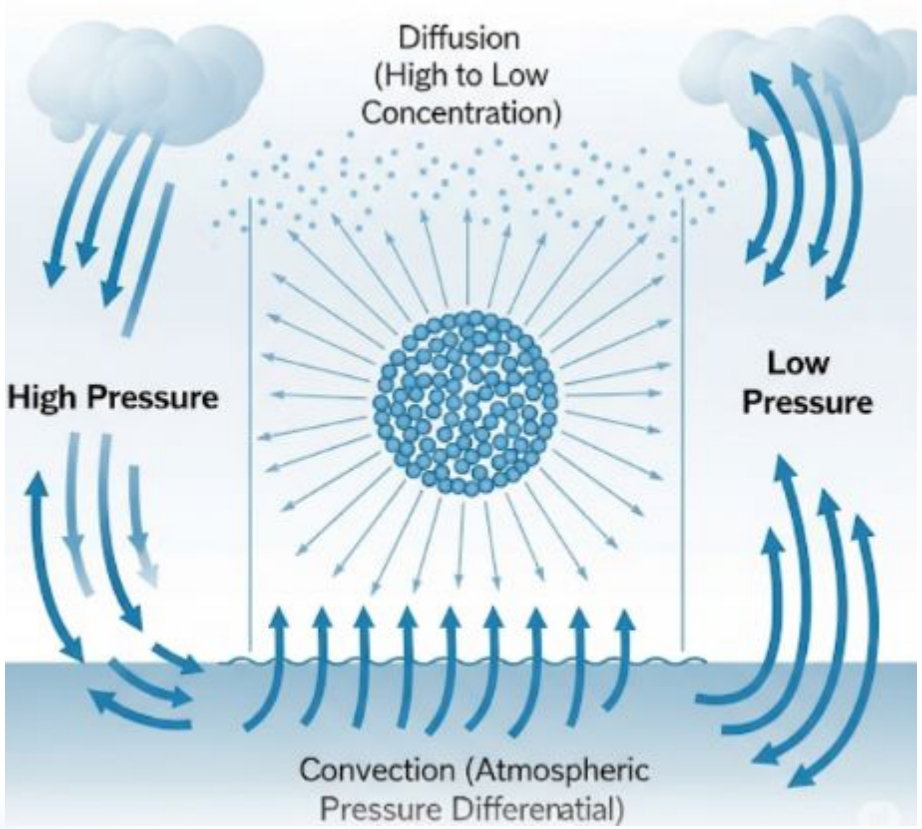
- Proceso relativamente lento, significativo en distancias cortas (centímetros a unos pocos metros)
- Es una fuente constante de Rn

Transporte de Radón - Convección o Advección



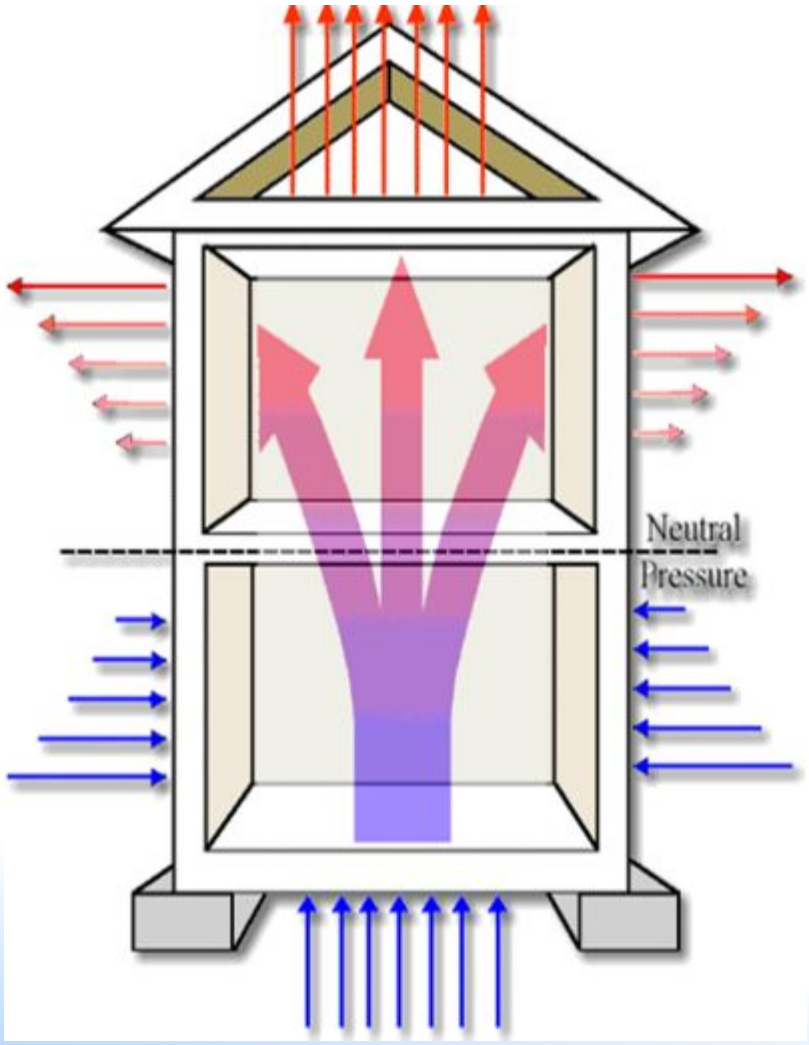
- Movimiento de un gas en masa, impulsado por una **diferencia de presión**.
  - **Difusión -** molecular **individual**
  - **Advección -flujo** en una dirección
- La presión del aire dentro de un edificio es más baja que la presión del aire en el suelo. Esta diferencia crea un **gradiente de presión** que actúa como una "aspiradora“ y presiones bajas aumentan la exhalación

Transporte de Radón - Convección o Advección



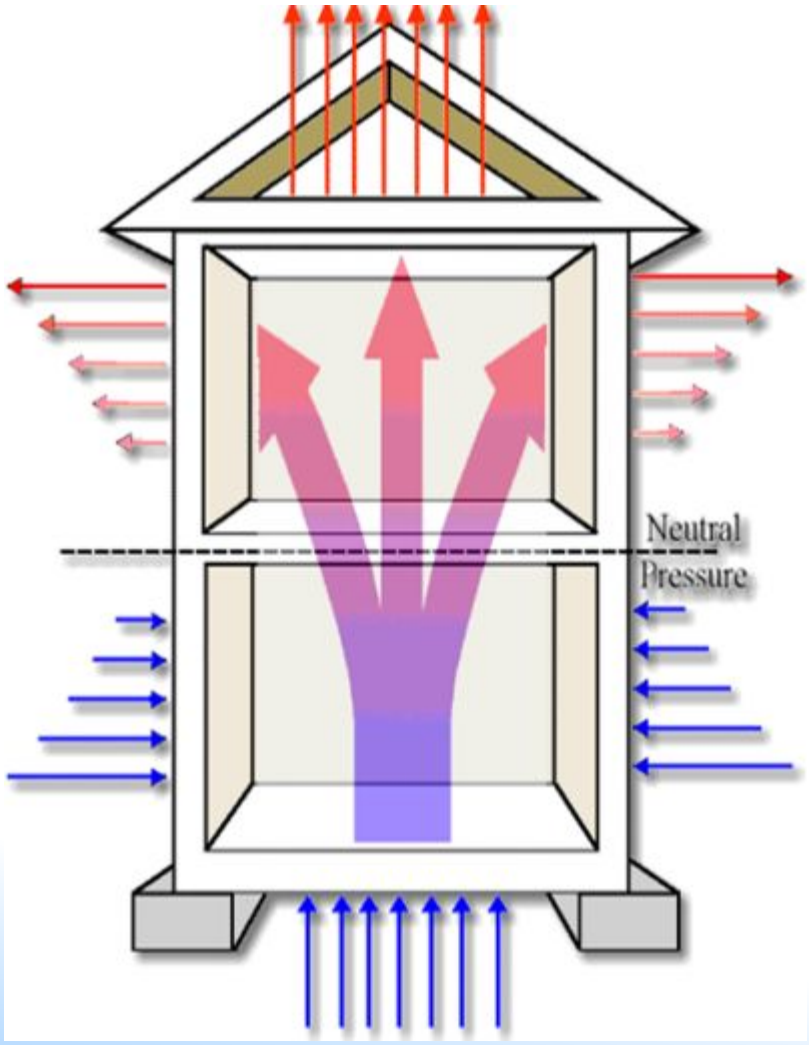
- El **radón**, es **succionado** hacia el interior a través de cualquier abertura o grieta en la cimentación (grietas en el concreto, juntas de construcción, espacios alrededor de tuberías, etc.)
- Mecanismo de transporte dominante y más rápido y más significativo

Transporte de Radón - Convección o Advección



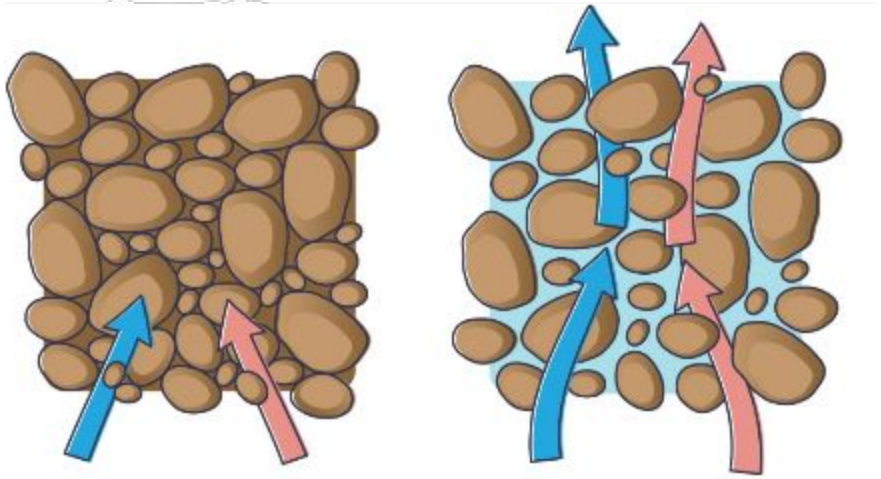
- Aire caliente sube - Aire frío baja
- Efecto Chimenea es el movimiento del aire hacia dentro y fuera de los edificios
- La flotabilidad del aire se produce debido a una diferencia en la densidad del aire entre el interior y el exterior por las diferencias de humedad, temperatura, presión atmosférica

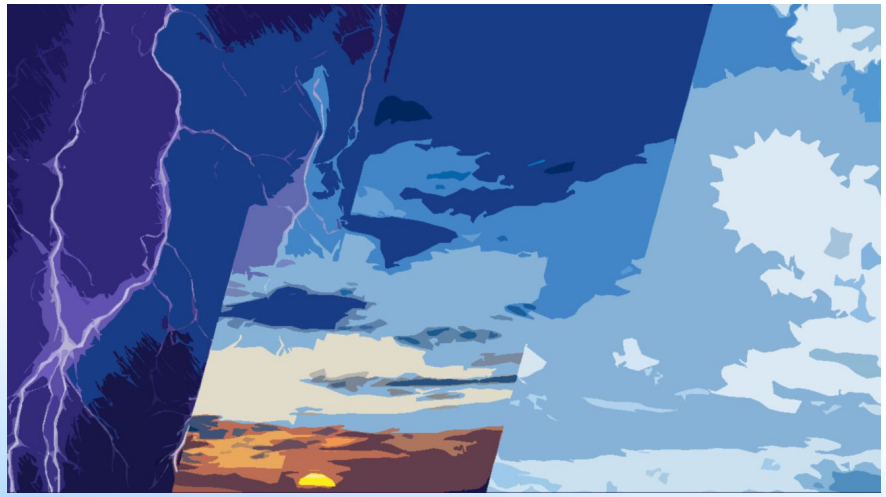
Transporte de Radón - Convección o Advección



- Causas de fugas de aire
  - Efecto chimenea
  - viento
  - sistemas de ventilación (como los extractores de aire)
  - pueden aumentar la diferencia de presión y, la cantidad de radón que ingresa
  - Δ temperatura -> Δ presión

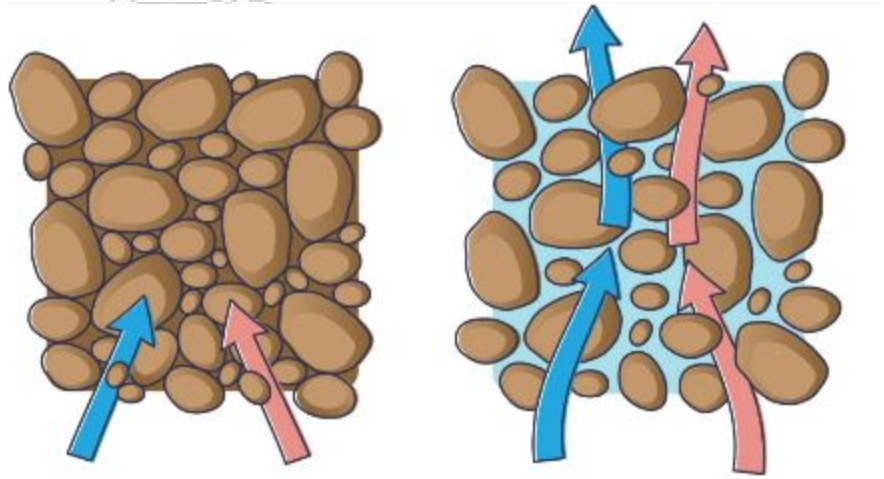
Transporte de Radón – Factores Adicionales

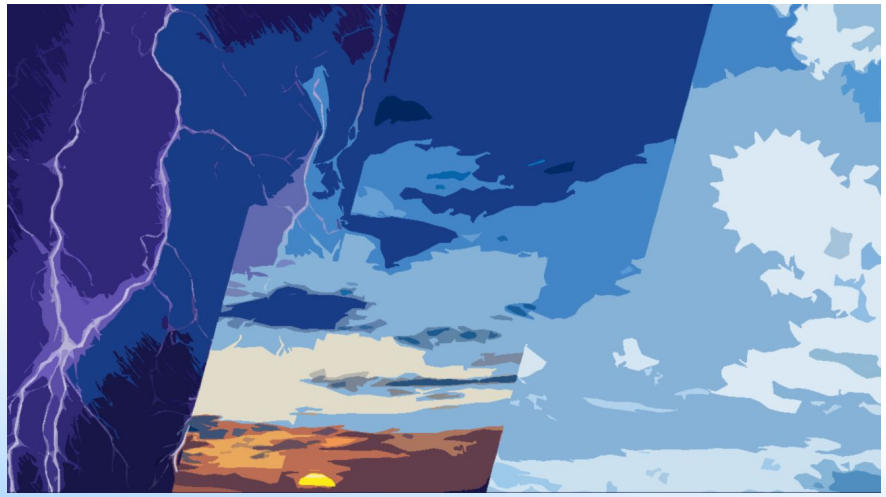




- Permeabilidad - facilidad con la que el agua y gas pueden moverse a través del suelo
  - Suelos más porosos (grava) permiten un movimiento más rápido que suelos densos (arcilla)
- Humedad: Agua en los poros puede bloquear el movimiento del gas
- Condiciones climáticas: temperatura, viento, y precipitación pueden influir las diferencias de presión entre el suelo y el interior

Transporte de Radón – Factores Adicionales





Permeabilidad – transporte a través de un medio poroso - suelo

Transporte = Difusión + Advección + Generación y Desintegración

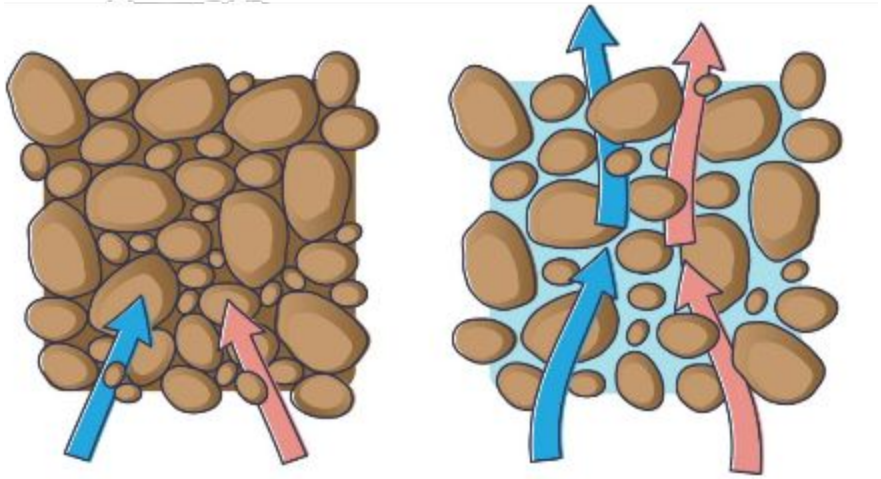
Transporte difusivo – movimiento por diferencias/gradientes de **concentraciones**

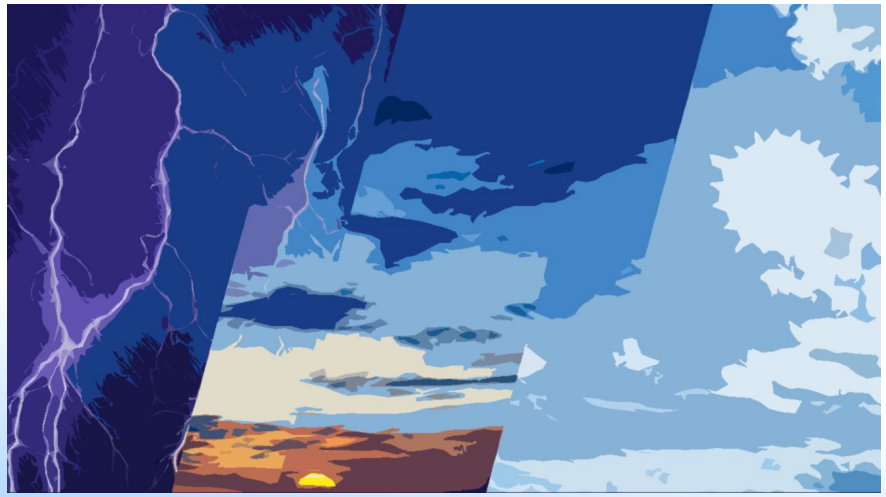
Depende de la porosidad y humedad del terreno, humedad y concentraciones

Transporte Advectivo - movimiento por diferencias/ gradientes de **presiones**

Pocos pascales de despresurización, permeabilidad

Transporte de Radón – Factores Adicionales



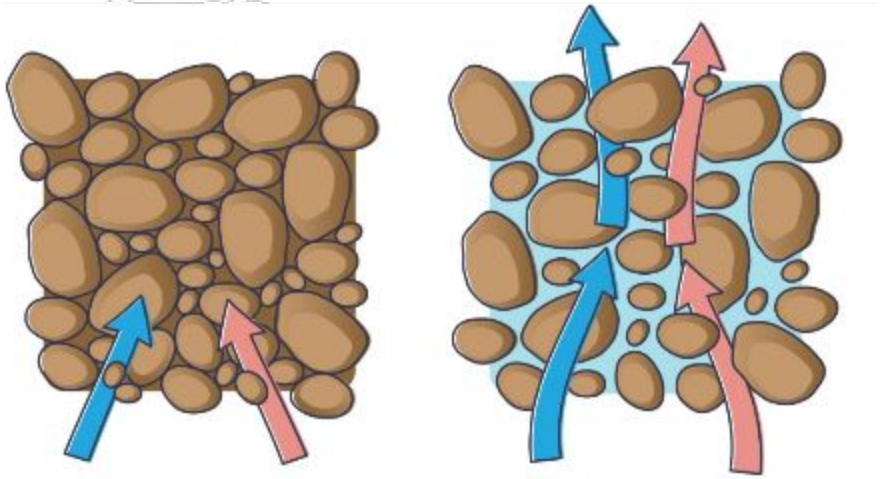


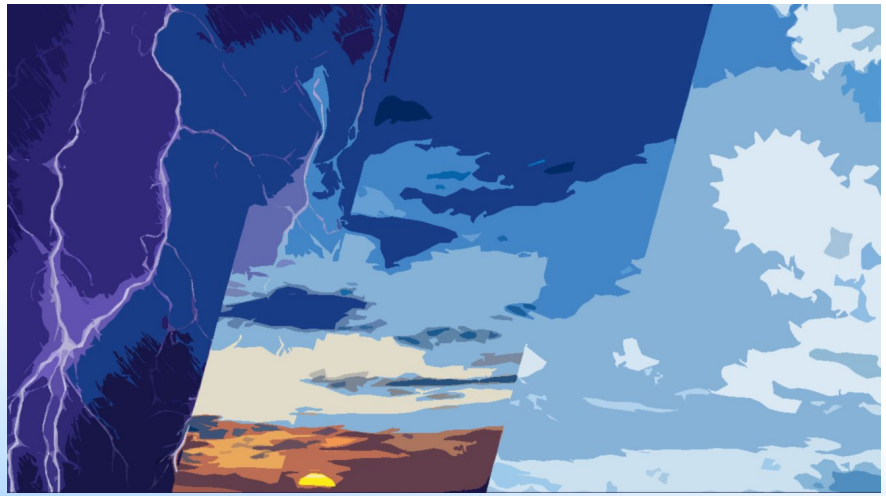
Permeabilidad – transporte a través de un medio pososo - suelo

Transporte = Difusión + Advección + Generación y Desintegración

Generación – incremento de Rn debido a la generación en los poros relacionado con el contenido de **Radio** en el terreno, la porosidad y el factor de emanación

Transporte de Radón – Factores Adicionales

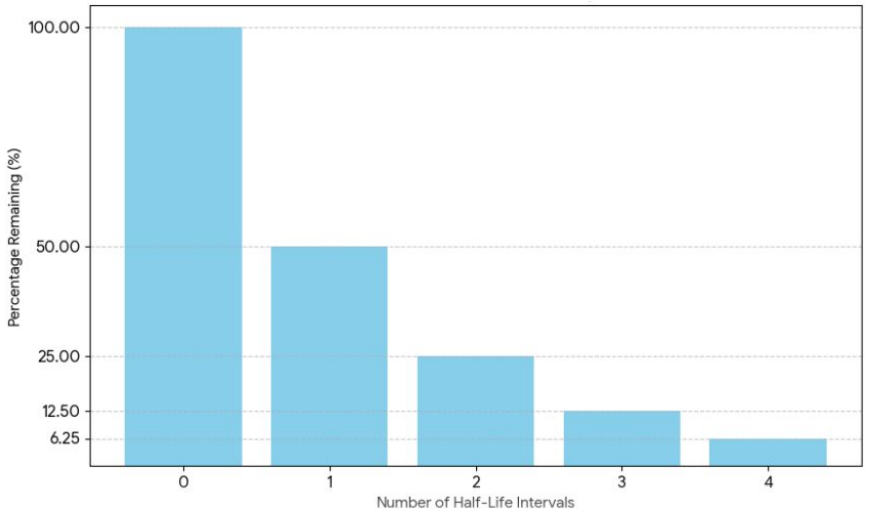




Permeabilidad – transporte a través de un medio pososo - suelo

Transporte = Difusión + Advección + Generación y Desintegración

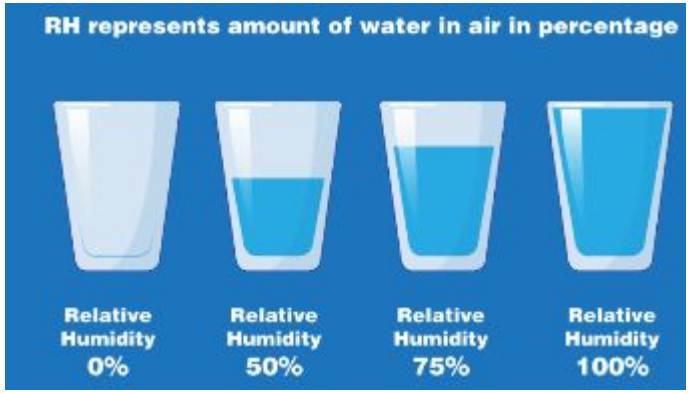
Desintegración radiactiva – vida media 3,8 días



Transporte de Radón – Factores Adicionales

Humedad Relativa:

Porcentaje de la cantidad de agua en el aire a cierta temperatura

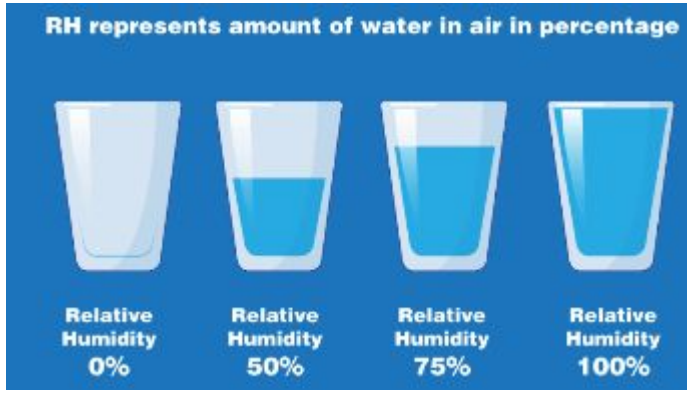




- Alta **humedad neutraliza el coeficiente de difusión** (tamaño de los poros en el suelo disminuye)
- **Permeabilidad** también **disminuye cuando** aumenta la **humedad**
- **Baja humedad aumenta** la **exhalación**
- **Baja permeabilidad** disminuye transporte difusivo - si **aumenta la permeabilidad** sube la exhalación

Transporte de Radón – Factores Adicionales

Humedad Relativa – otros factores:

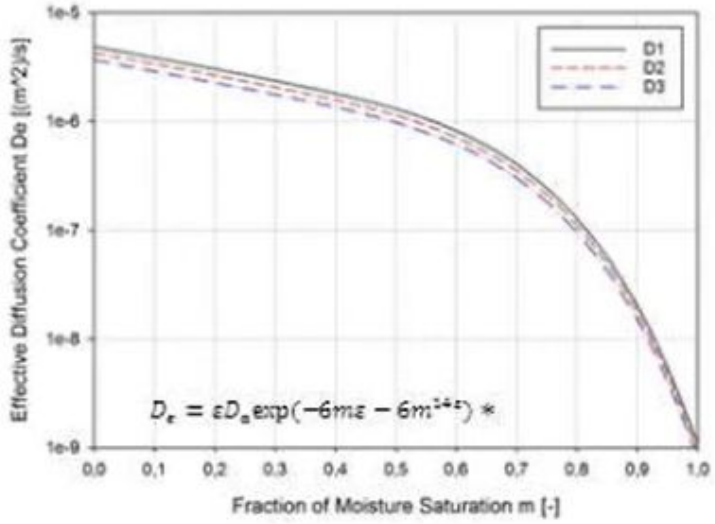




- Temperatura y la presión atmosférica influyen gradientes de presión y la solubilidad del radón en el agua
- En suelos muy secos o totalmente inundados, el radón puede “viajar” más por corrientes de agua subterránea que por difusión gaseosa
- Es fundamental realizar mediciones simultáneas de humedad, temperatura y presión para modelar su comportamiento

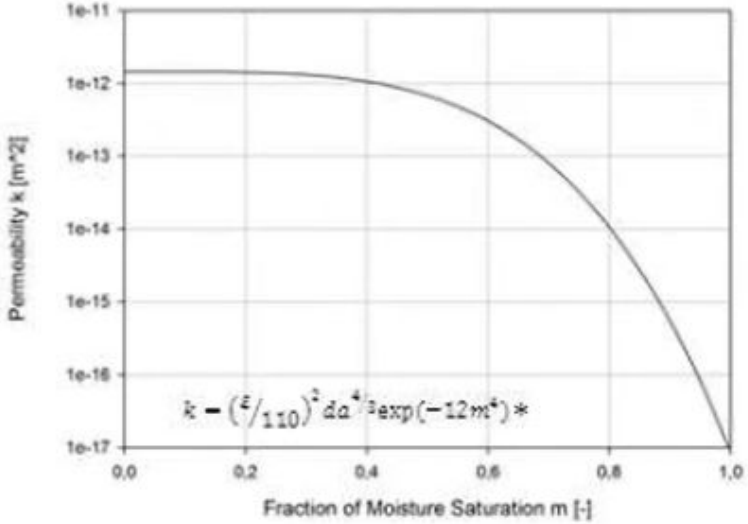
Transporte de Radón – Factores Adicionales

COEFICIENTE DE DIFUSIÓN VS HUMEDAD



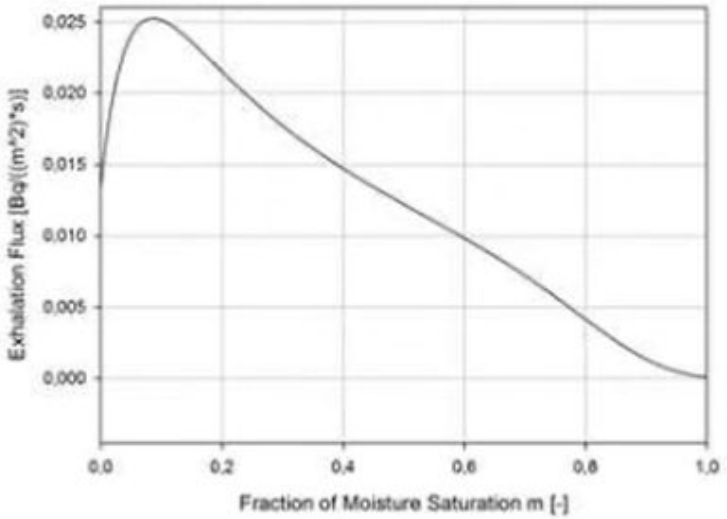
- Alto contenido de humedad neutraliza el transporte difusivo
- $\uparrow m \rightarrow \downarrow \varepsilon \rightarrow \downarrow De$

PERMEABILIDADVS HUMEDAD



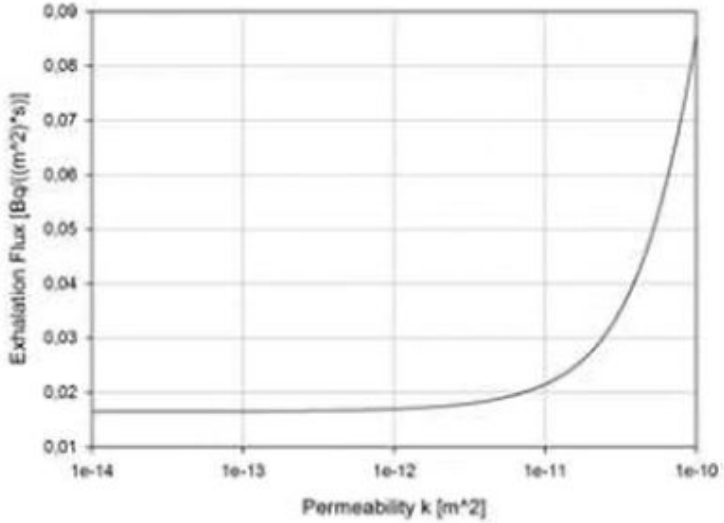
- Alto contenido de humedad disminuye la permeabilidad
- $\uparrow m \rightarrow \downarrow \varepsilon \rightarrow \downarrow k$

EXHALACIÓN VS HUMEDAD



- Humedad repercute en el coeficiente de difusión, la permeabilidad y el factor de emanación
- Provocan un máximo de exhalación a humedades bajas

EXHALACIÓN VS PERMEABILIDAD



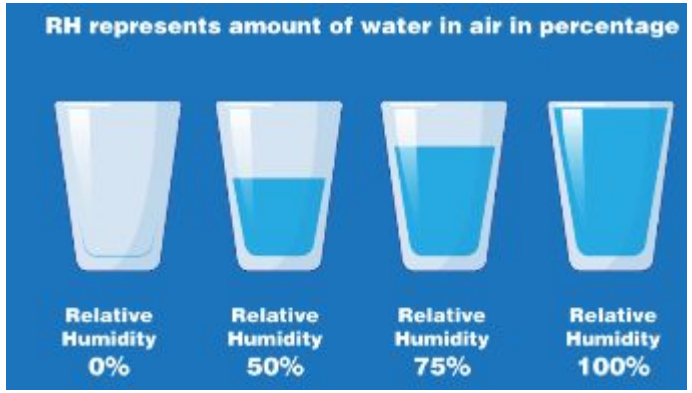
- Exhalación relativamente constante por debajo de $k < 10^{-12}\ m^2$
- Exhalación crece rápidamente para valores superiores a $k > 10^{-12}\ m^2$

*(Rogers & Nielson 1991)

PROYECTO RADÓN CERO
OPTIMIZACIÓN DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA

Transporte de Radón – Factores Adicionales

Factores que influyen la emisión de radón en el aire

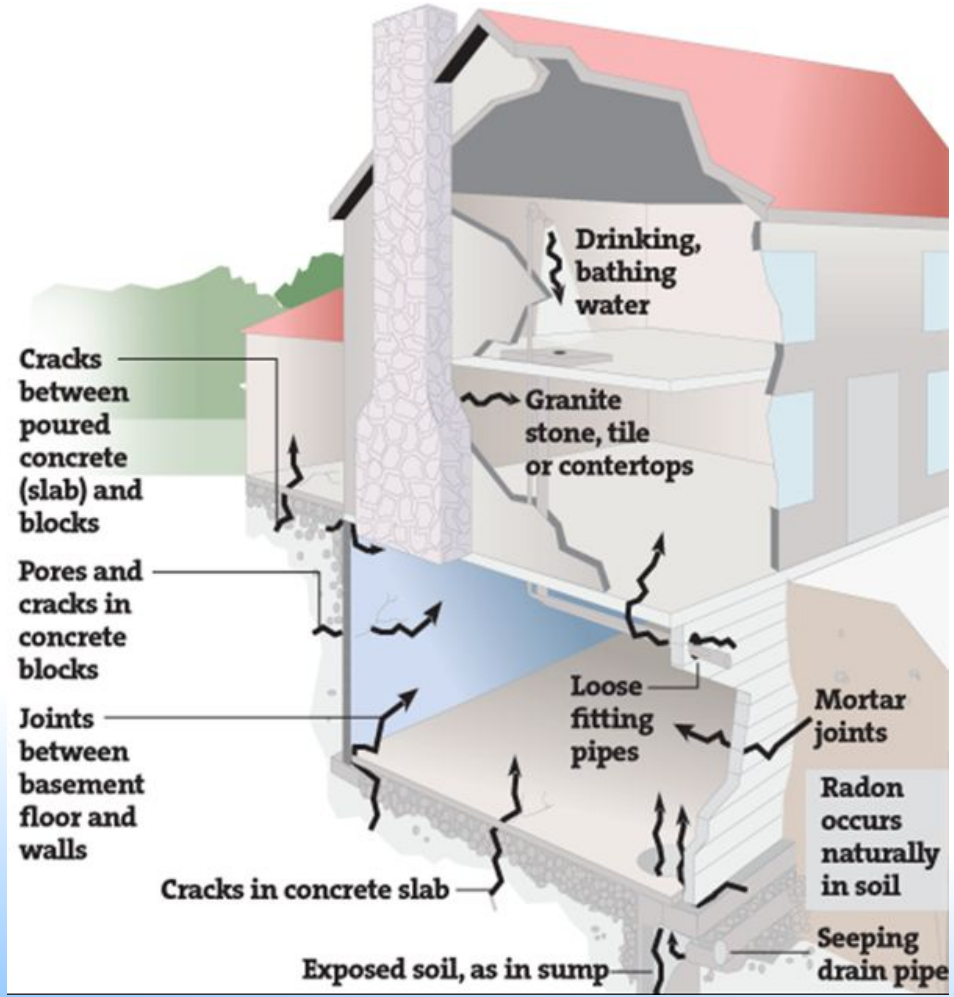




FACTOR	CONCEPTO	RENGO NORMAL DE VARIACION	CONSEQUENCIA AL AUMENTAR EL VALOR DEL FACTOR
Actividad de Uranio y Radio 226 (Bk/kg)	Numero de desintegraciones por unidad de masa (1 ppm de uranio en equilibrio -> 12.3 Bq/Kg)	1-3000	Aumenta el Radón
Fraccion de emanacion	Fracion de Rn222 emitida desde los granos de roca o suelo a los poros que lo rodean	0.2-0.4	Aumenta el Radón
Coeficiente de Difusion	Transmisividad del radon para atravesar la capa del suelo	0.2 a $2x10^{-4}$	Aumenta el Radón
Porosidad (P)	P= 1-p/γ - p (agua)	0.25 a 0.45	Aumenta el Radón
Humedad VolAgua (cm3)/Vol Total (cm3)	Fraccion de saturacion = vol agua/vol poros	6 a 35	Disminucion de Radón
Densidad seca	g/cm^3	1.5 a 1.8	Disminucion de Radón
Peso especifico	p (roca o suelo)/ p (agua)	2.5 a 2.8	Disminucion de Radón

Entrada de Radón

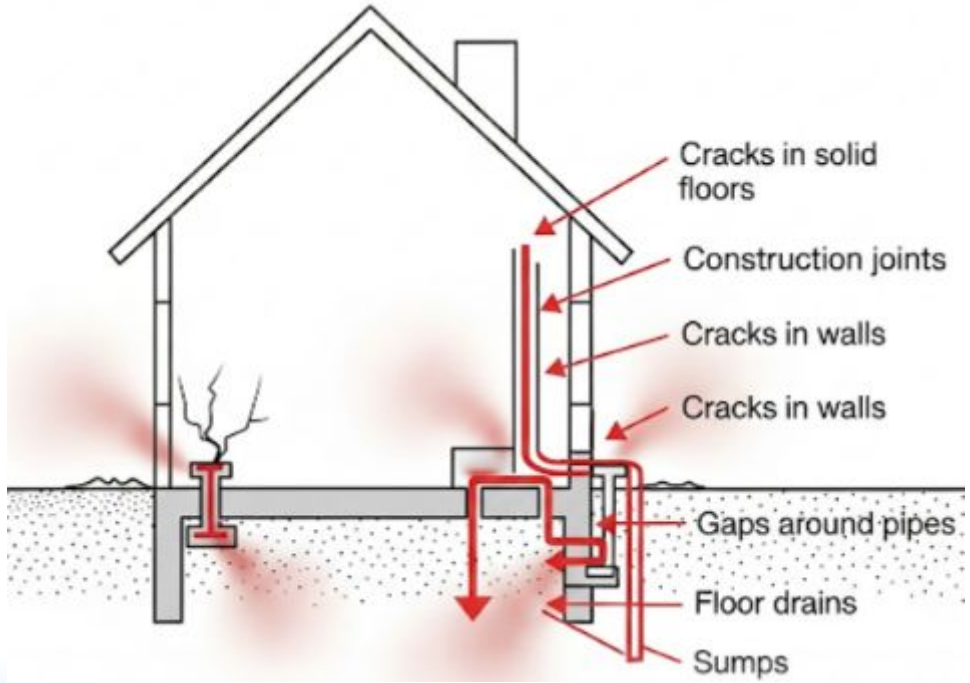
- Canalizaciones, Juntas de construcción
- Material de construcción



- Espacios alrededor de las tuberías
- Grietas en el suelo y la pared de 0,1 micra
- Principal

  Convección

  Δ presiones

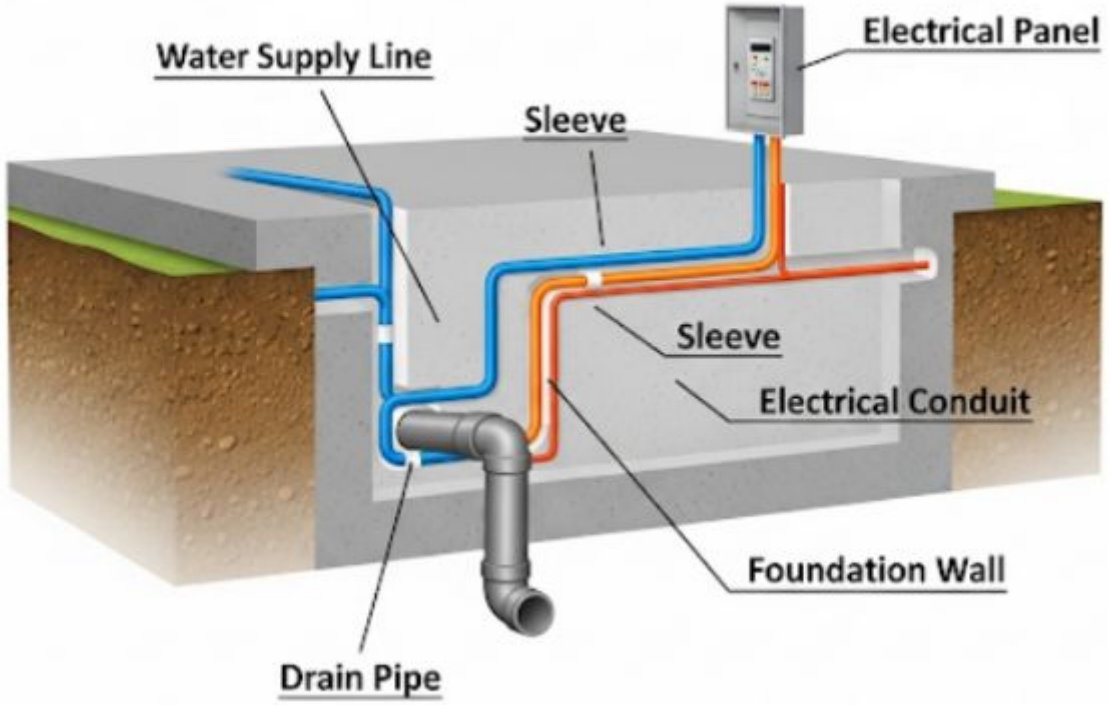


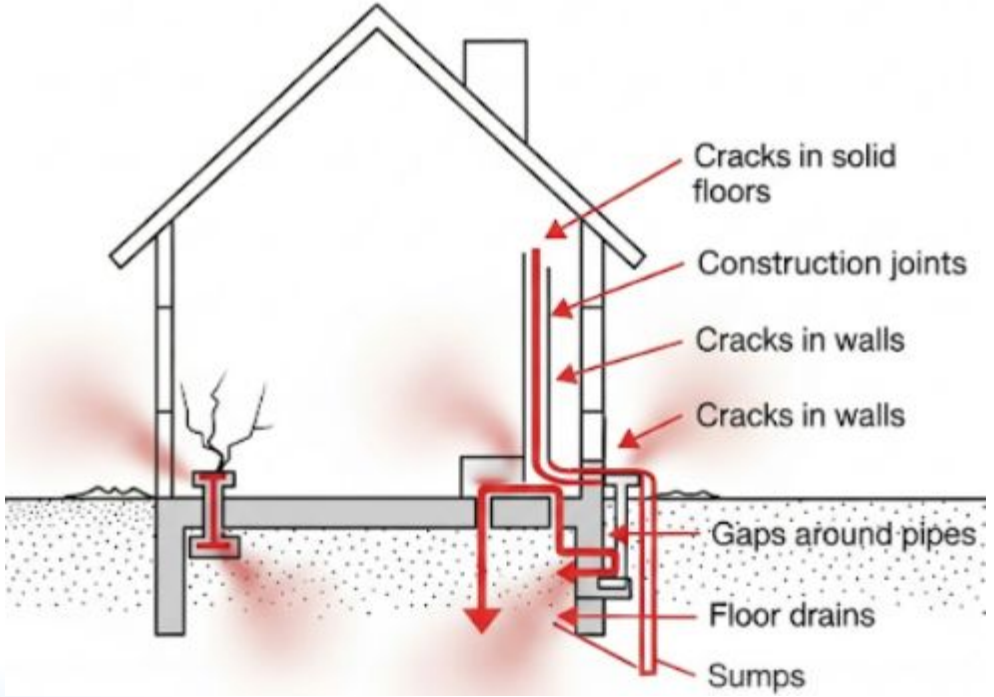
Entrada de Radón

- Entradas de plomería y eléctricas
- Juntas de dilatación

- Principal Convección Δ presiones

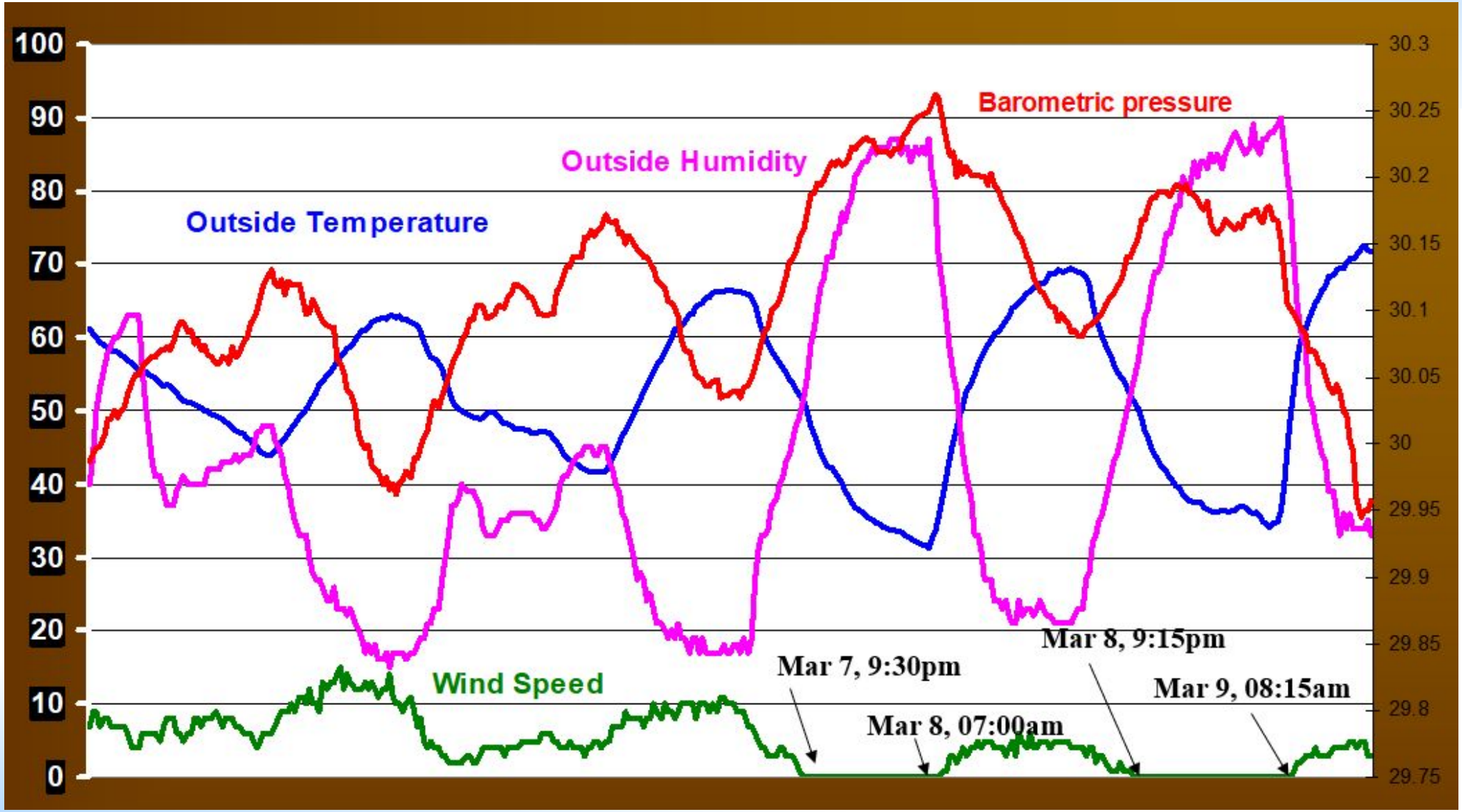






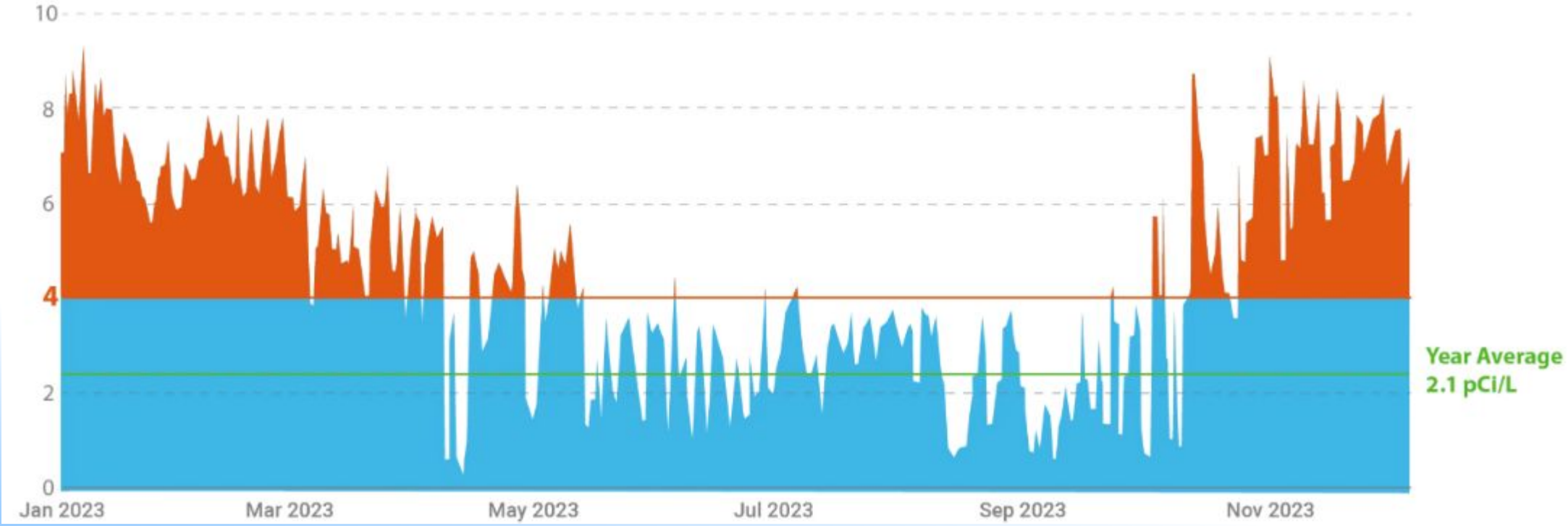
Entrada de Radón

Affectadas por Δ presión temperatura concentracion del gas en el suelo



Entrada de Radón

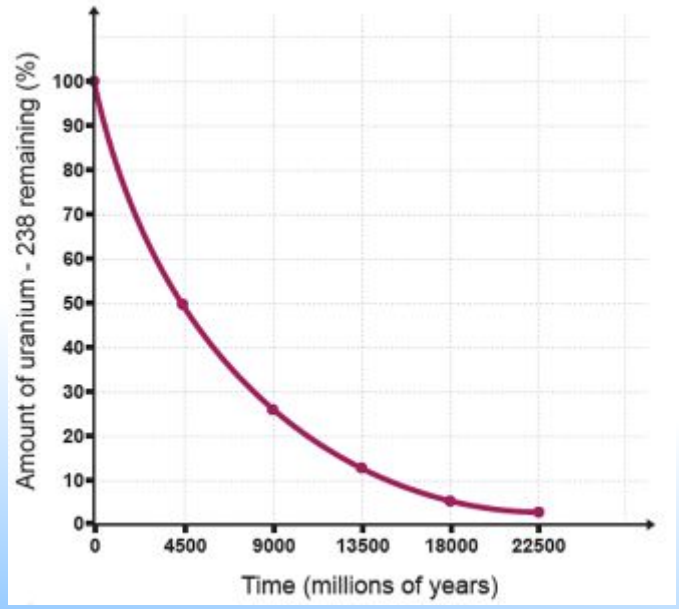
- Fluctuaciones cada hora, diarias y estacionales
- Medir exposición a largo plazo para tener en cuenta estos cambios y obtener mejor valor

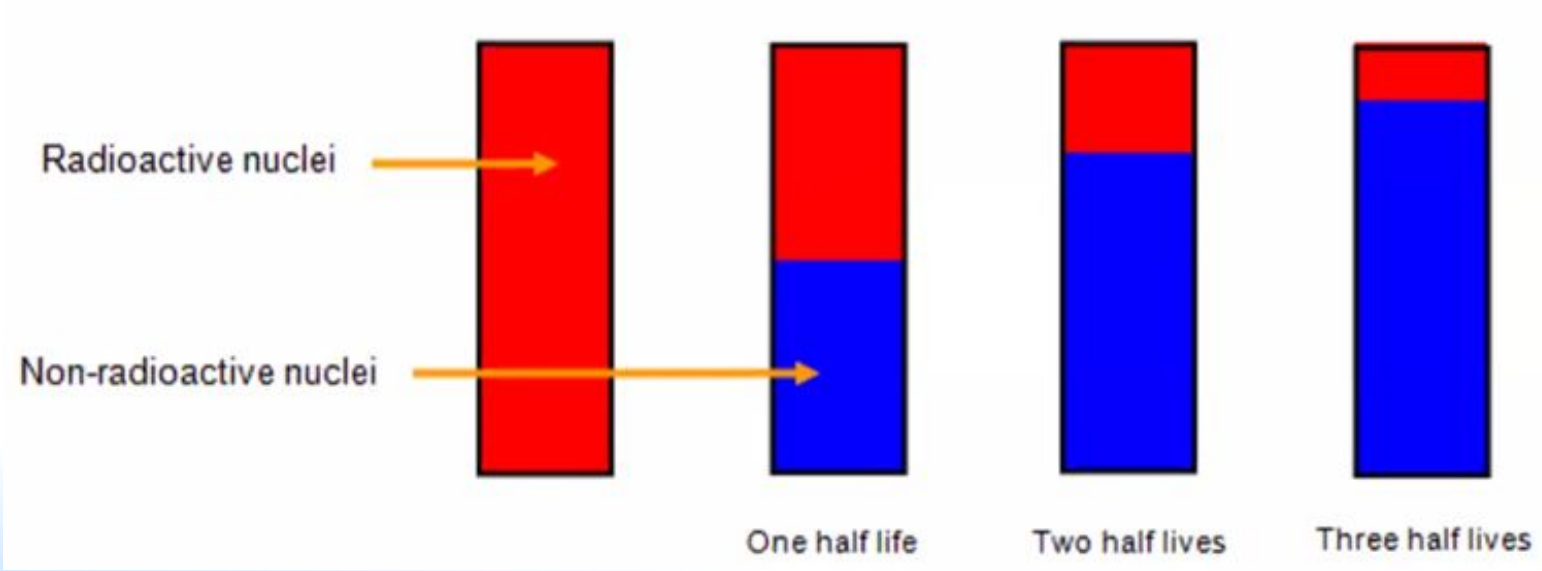


Entrada de Radón – Vida Media

- Tiempo que tarda la mitad de un elemento radiactivo en desintegrarse
- Cuanto más corta sea la vida media, mayor será la actividad
- La vida media del radon es 3,8 dias – Uranio es 4,5 billones de años, Radio es 1600 años







Entrada de Radón – Equilibrio Secular

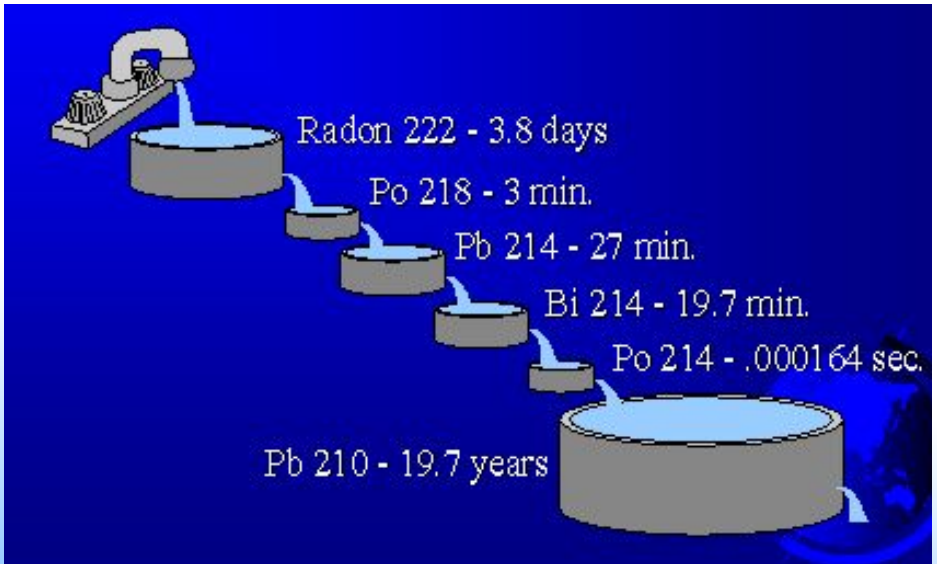
- La vida media del radón es más larga que los descendientes de vida corta
- En el **equilibrio secular (ES)** radioactivo, las tasas de desintegración de los descendientes y el radón son iguales



- Después de un tiempo, habrá tantos átomos de polonio-218 desintegrándose como átomos formados
- Entonces la concentración de polonio 218 no aumentará másc

Entrada de Radón – Equilibrio Secular

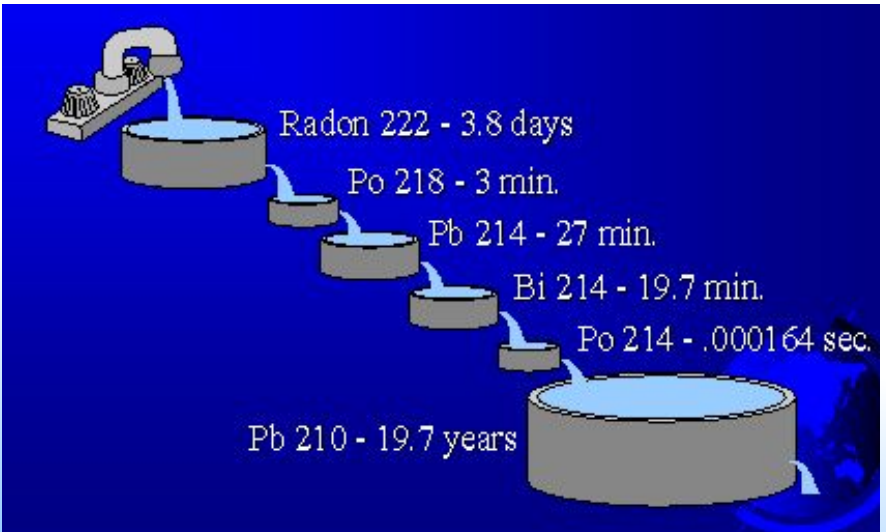
- Equilibrio **Secular** - **Concentración total** de los **descendientes** de vida corta presente, dividida por la concentración que existiría si estos descendientes estuviesen en equilibrio radioactivo con la concentración del gas radón



- **Balance** entre la cantidad de productos de desintegración del radón que se **producen y se pierden** por la dispersión o la ventilación
- Circulación del aire aumenta la dispersión y reduce RE

Entrada de Radón – Equilibrio Secular

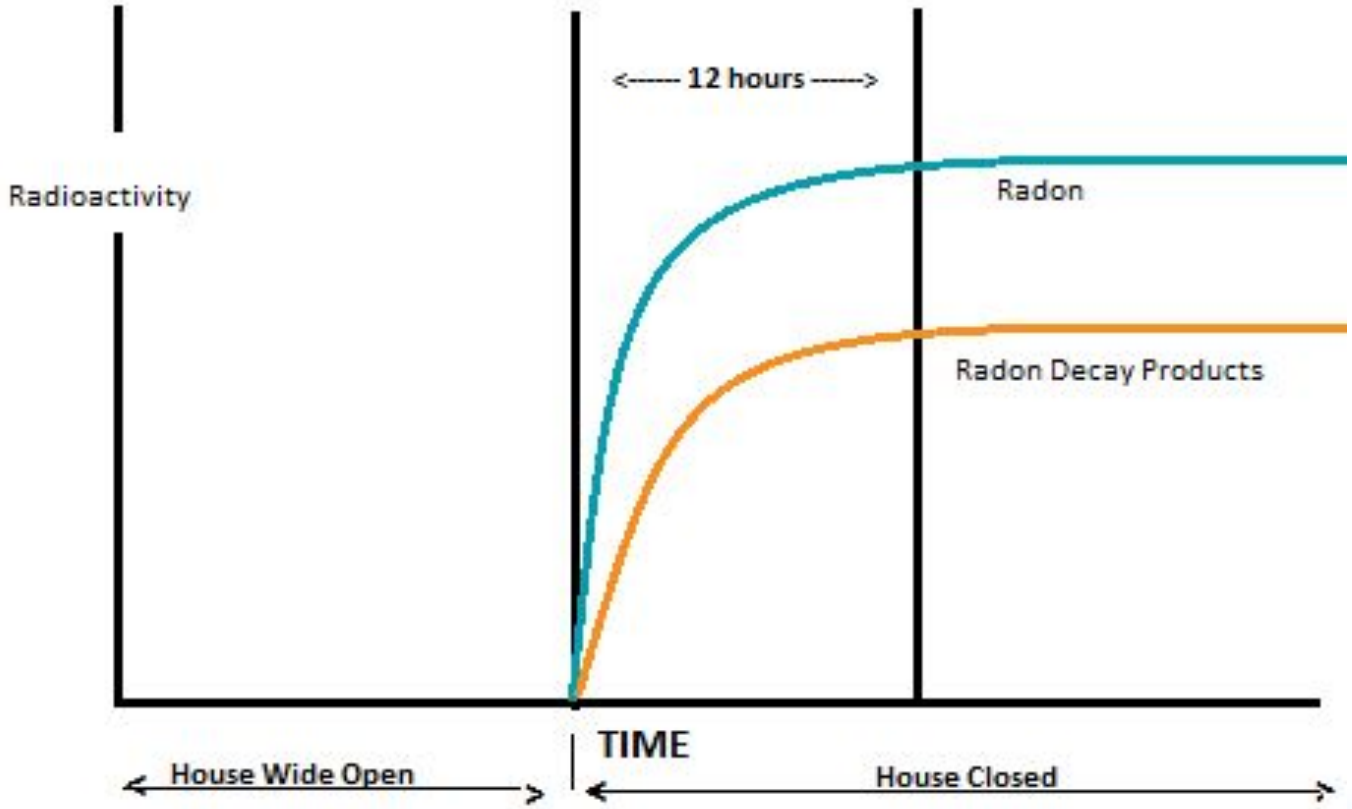
- Ventilación reciente reduce el tiempo de formación de productos de desintegración y puede eliminar tanto el radón como sus productos de desintegración
- Filtros de aire electrónicos reducen la cantidad de productos de desintegración del radón adheridos a las partículas de polvo, lo que disminuye la relación de equilibrio



- Polvo y el humo en suspensión aumentan los puntos de adhesión de los productos de desintegración del radón, lo que reduce la dispersión, y son más fáciles de inhalar.

Entrada de Radón – Equilibrio Dinámico

- Radón forma productos de descomposición en la vivienda

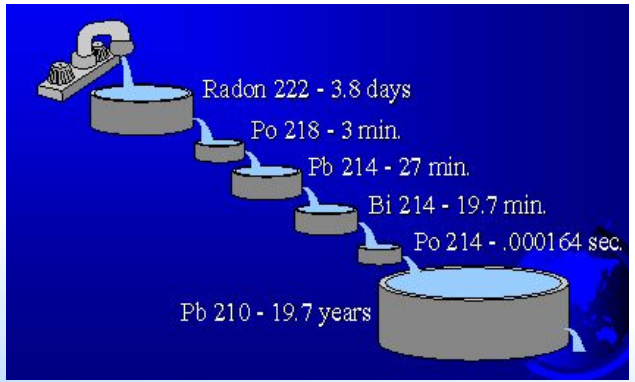


- Niveles de radón y sus productos tardan en estabilizarse (en aproximadamente 12 horas después de cerrar puertas y ventanas, alcanzan una concentración equilibrada)
- Esta concentración es un **equilibrio entre la cantidad** de productos de descomposición del radón **que se producen** y la que **se pierde por la Ventilación**

Entrada de Radón – Secular vs Dinámico

SECULAR

- Logrado en 4 horas
- Descendientes de vida corta tienen la misma concentración que el radón
- Equipo de medición requieren este equilibrio antes del análisis

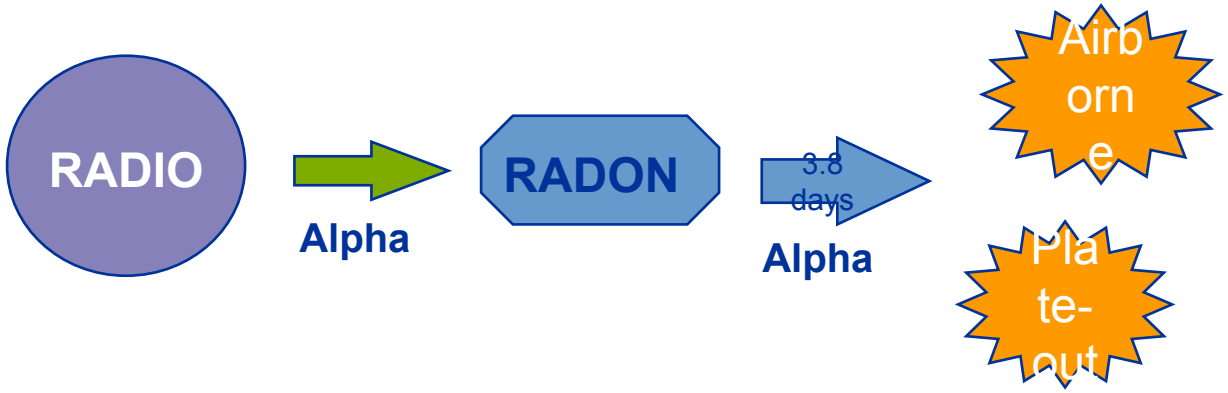


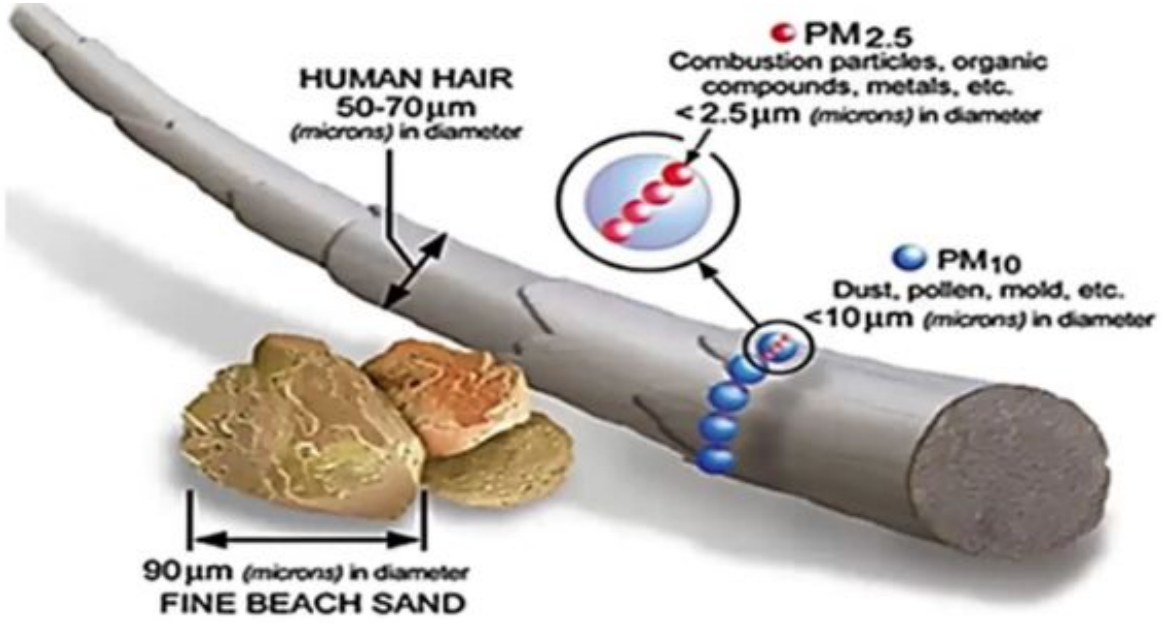
DINÁMICO

- Logrado en 12 horas
- Radón y los PDR se estabilizan
- Mantenga edificio cerrado al menos antes de comenzar la prueba



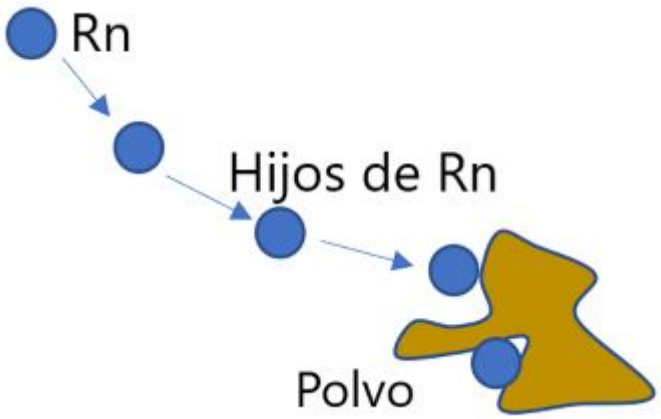
Entrada de Radón – productos de desintegración del radón (PDR)



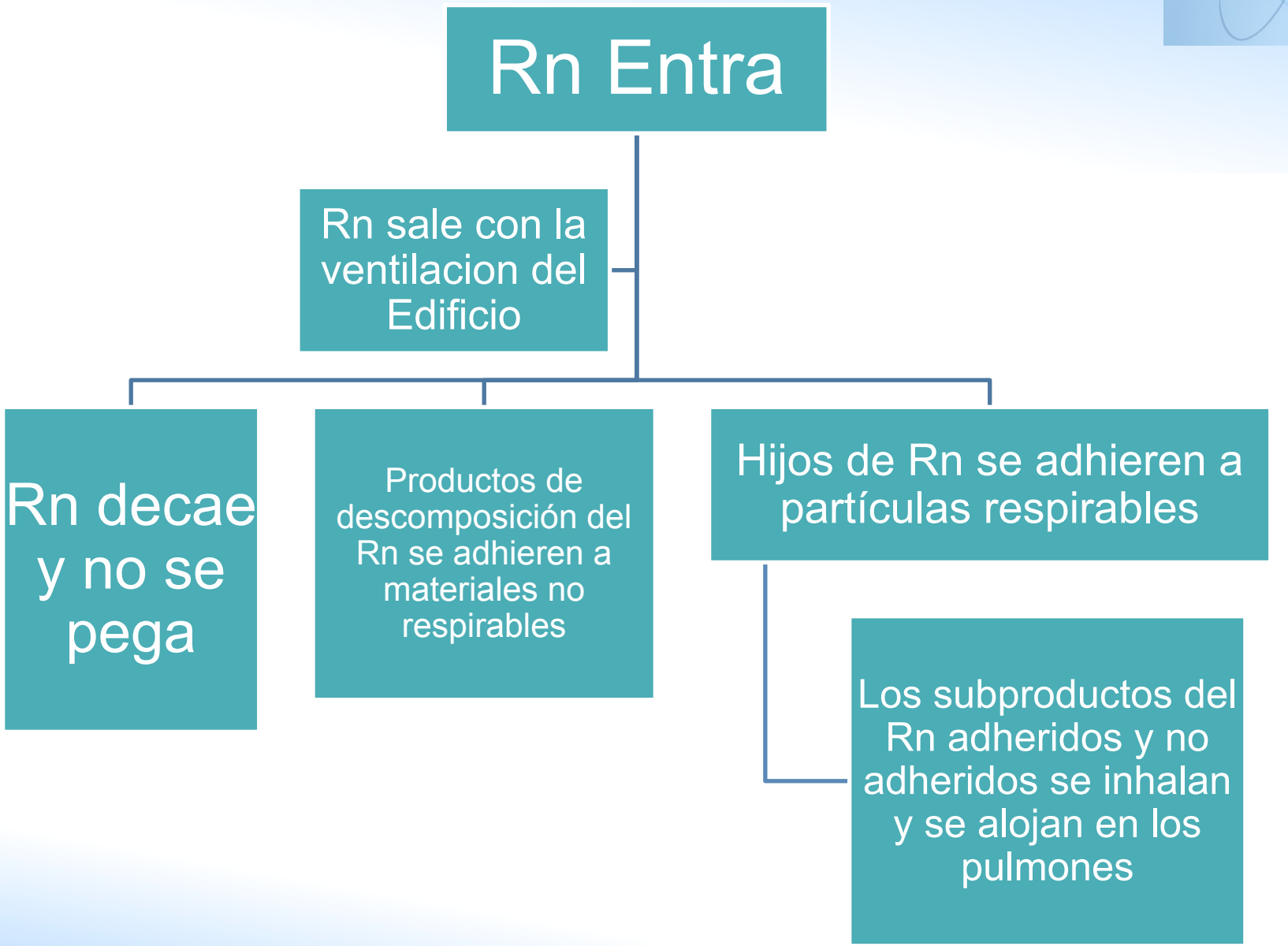


- RDPs solidos, carga estática,
- Reactivos químicamente
- Partículas alfa se adhieren al polvo de 0,1 a 0,5 micras

¿Qué Sucede Cuando el Radón Entra un Edificio?

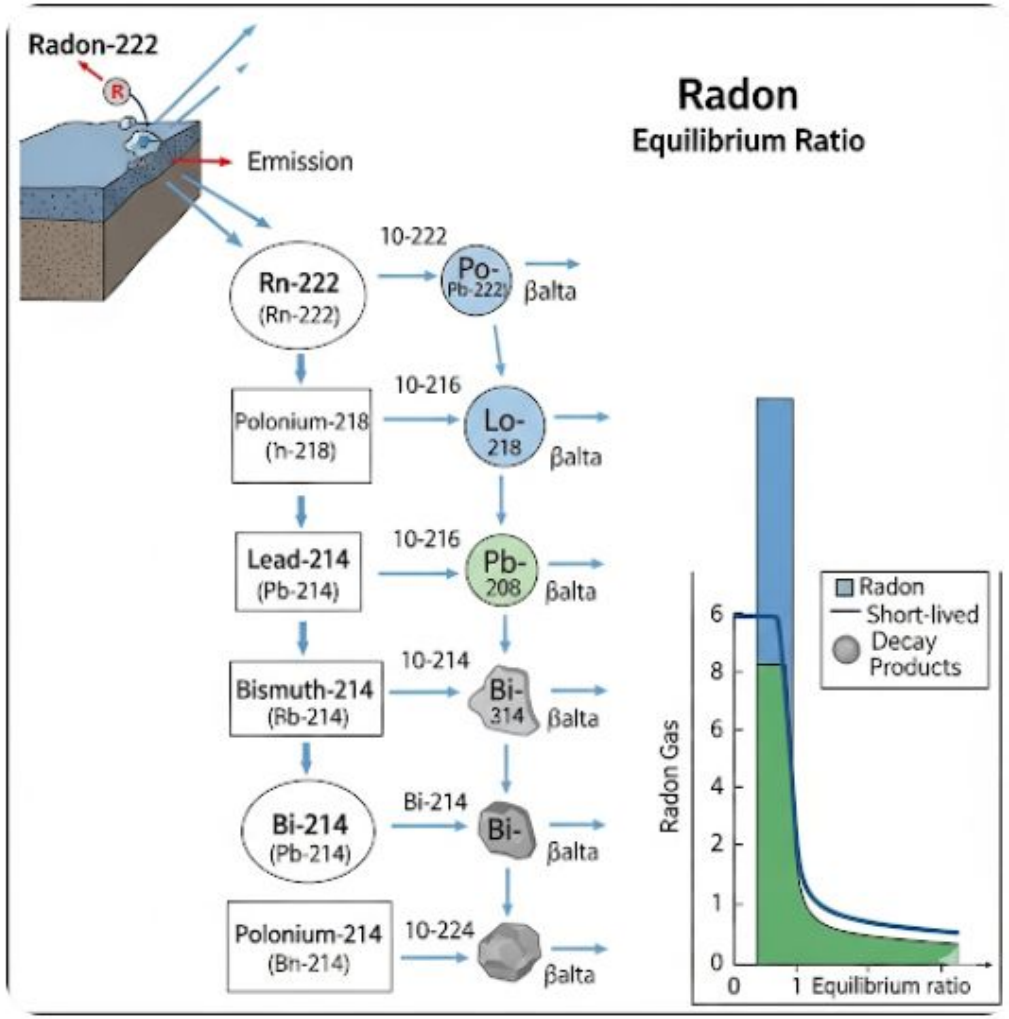


Descomposición constante de partículas radiactivas en nuestros pulmones puede provocar cáncer de pulmón

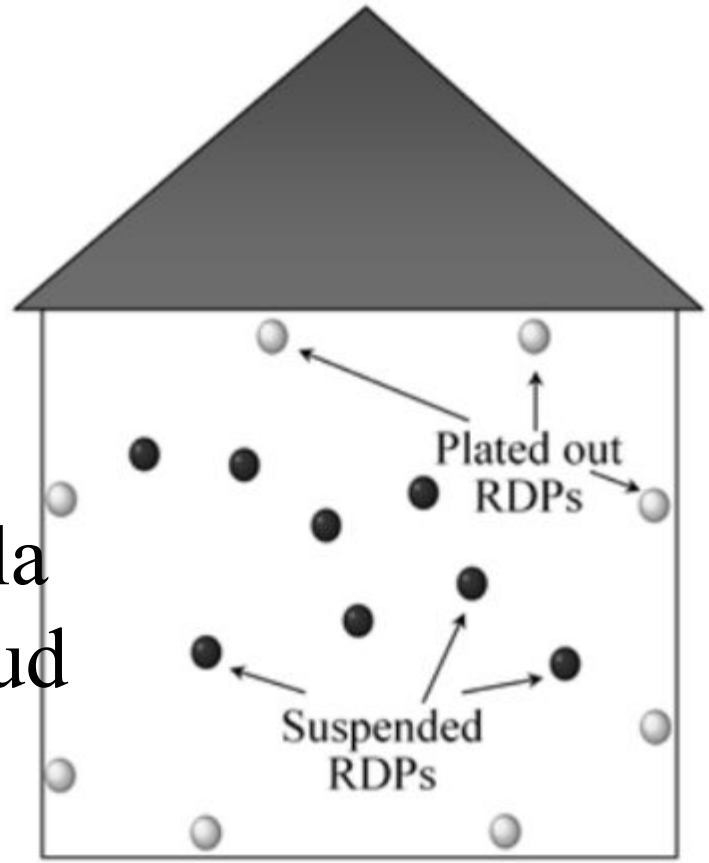


Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (FE)

Relación entre descendientes de vida corta y la concentracion de radón

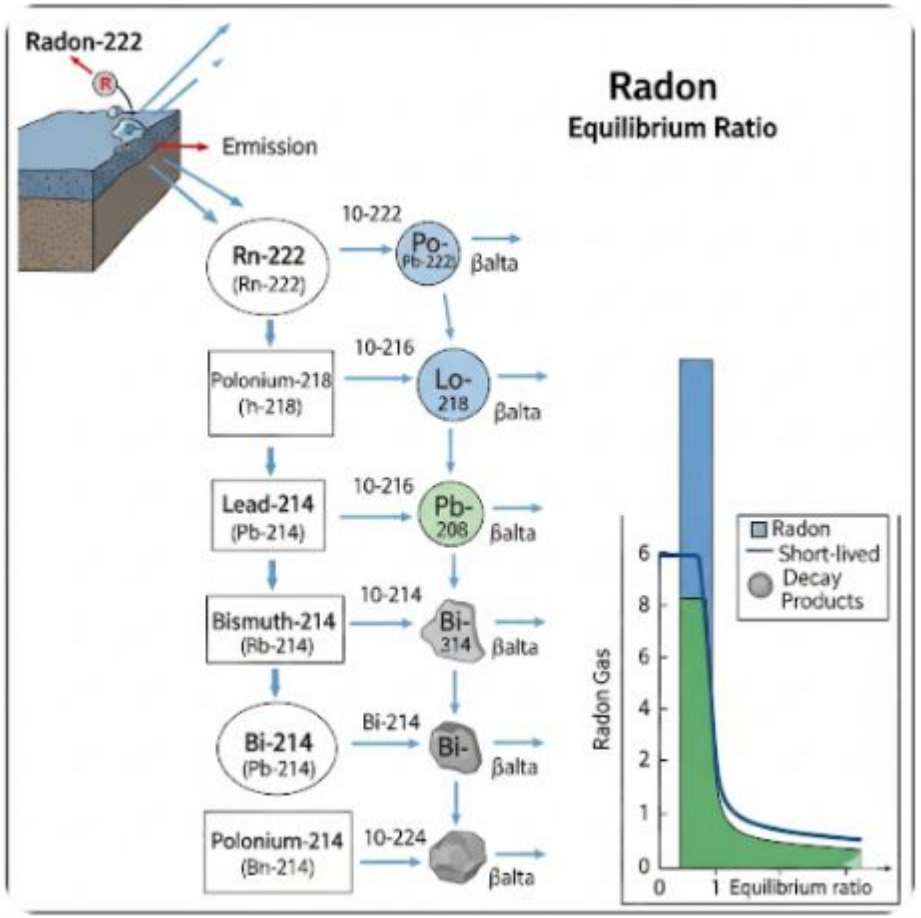


Si se conoce el radon y multiplicamos por FE sabemos la concentración de los descendientes – lo cual se utiliza para calcular la dosis y efectos a la salud



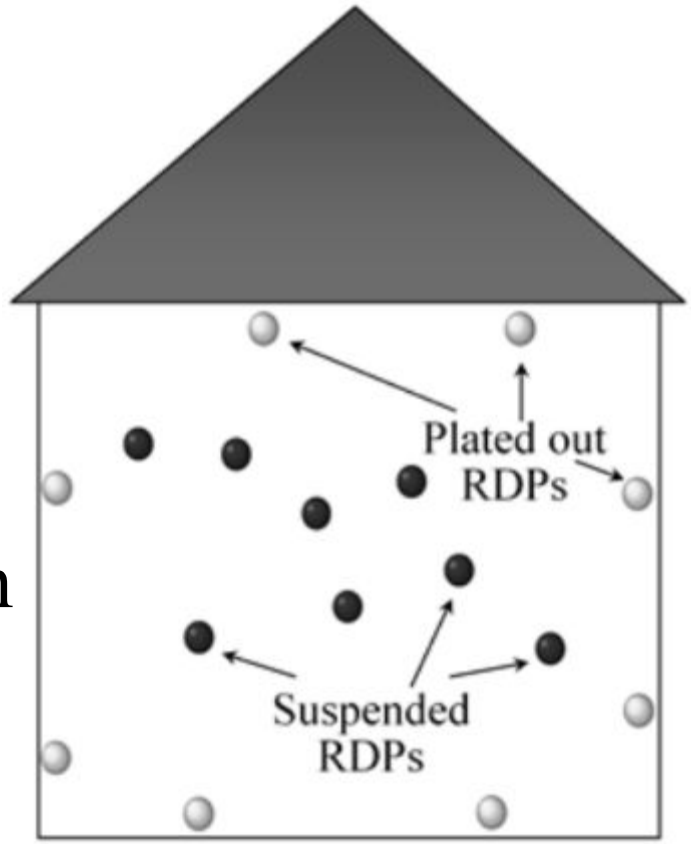
Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (FE)

Relación entre descendientes de vida corta y
la concentracion de radón



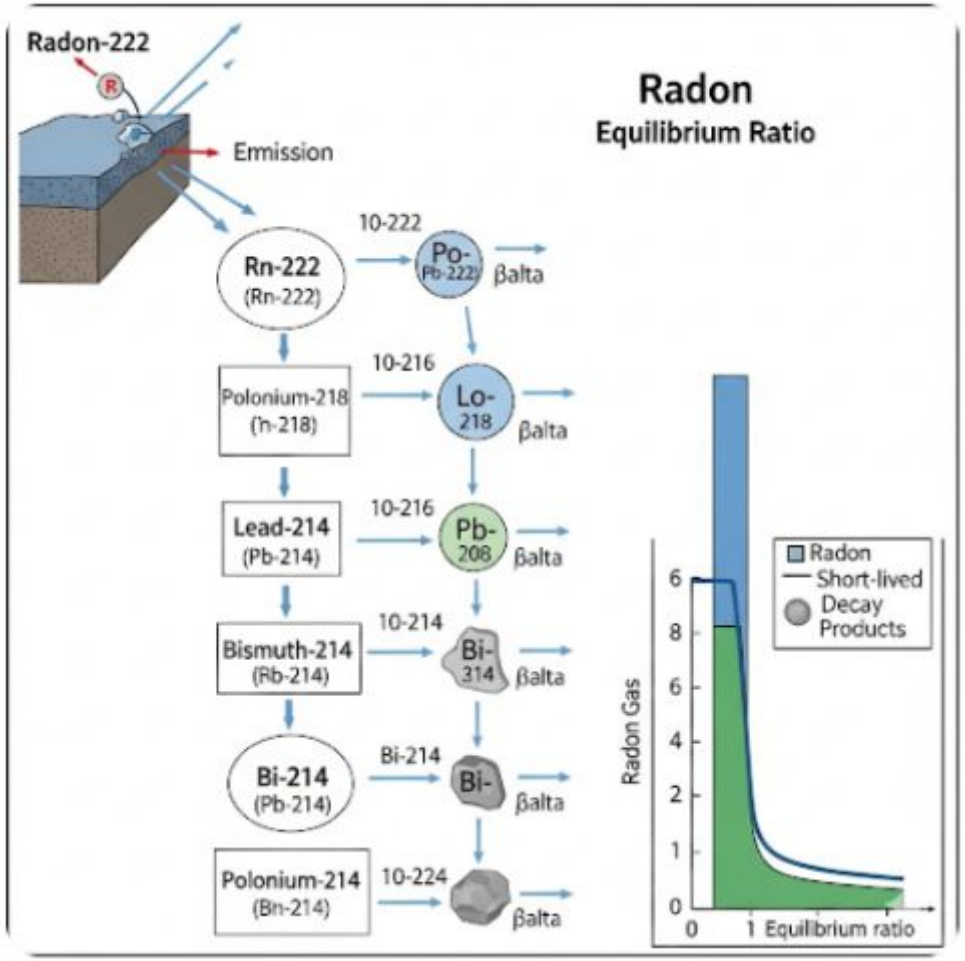
Productos de la descomposición del radón se adhieren a partículas y llevan energía alfa directamente al pulmon

FE = Porcentaje de estos productos que permanecen en el aire



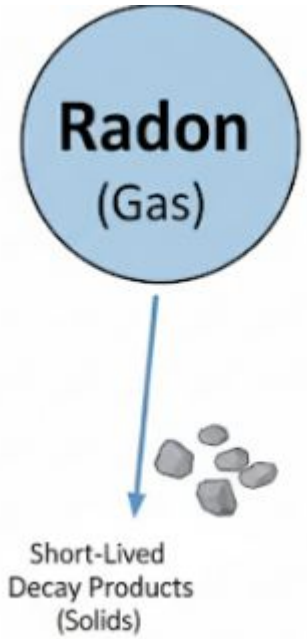
Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (FE)

Relación entre descendientes de vida corta y la concentracion de radón



Factores que afectan FE

- Circulacion del aire
- Filtros de aire
- Polvo suspendido, humo
- Ventilacion reciente

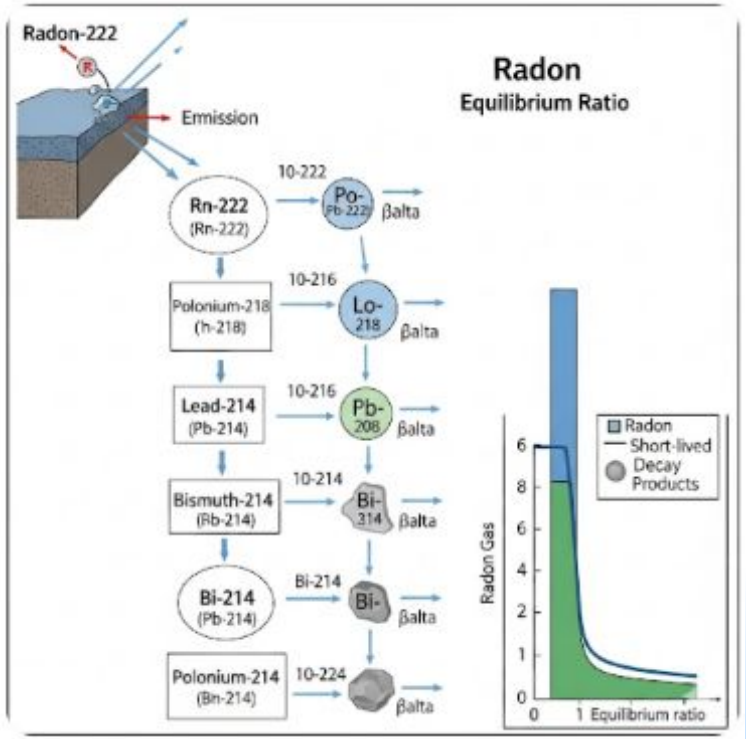


Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (FE)

Que afecta el **Factor de equilibrio ? - ICRP FE= 0.4**

FE = WL valor x 100

Conc. Radón

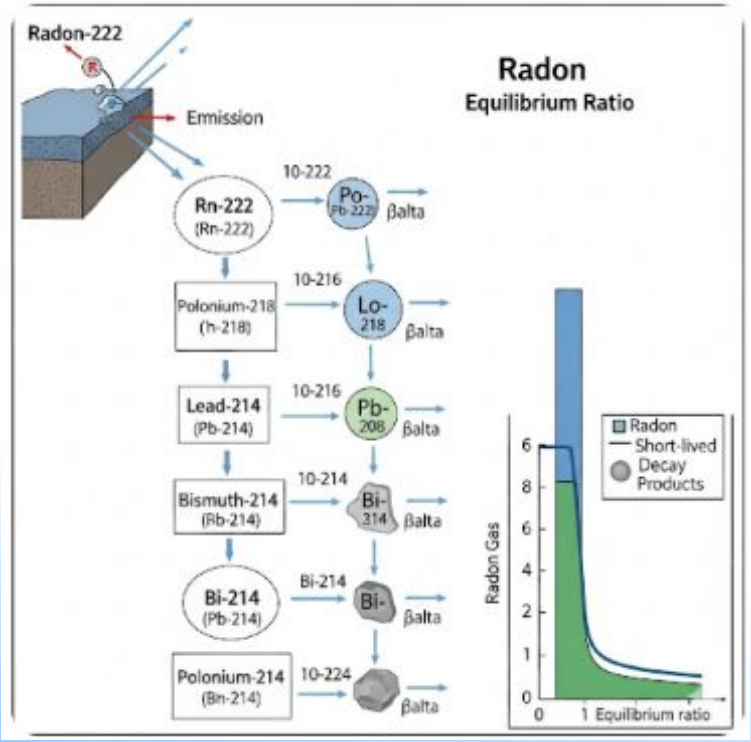


- **Circulación del Aire** aumenta el pegamento de Rn a partículas de polvo
- **Filtros de aire electrónicos** reducen los productos de descomposición del radón (PDR) adheridos a las partículas de polvo
- **Polvo suspendido y humo** aumentan sitios donde se adhieren PDR, de modo que haya menos pegamento
- **Ventilación reciente** reduce el tiempo de formación de PDR. Además, puede eliminar el radón como sus productos de desintegración

Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (FE)

Relación entre descendientes de vida corta y el radon

ICRP FE= 0.4



Difícil y costoso de medir, varia por hora, diario, mes, etc

$$\mathbf{FE = \frac{WL\ valor\ x\ 100}{Conc.\ Radón}}$$

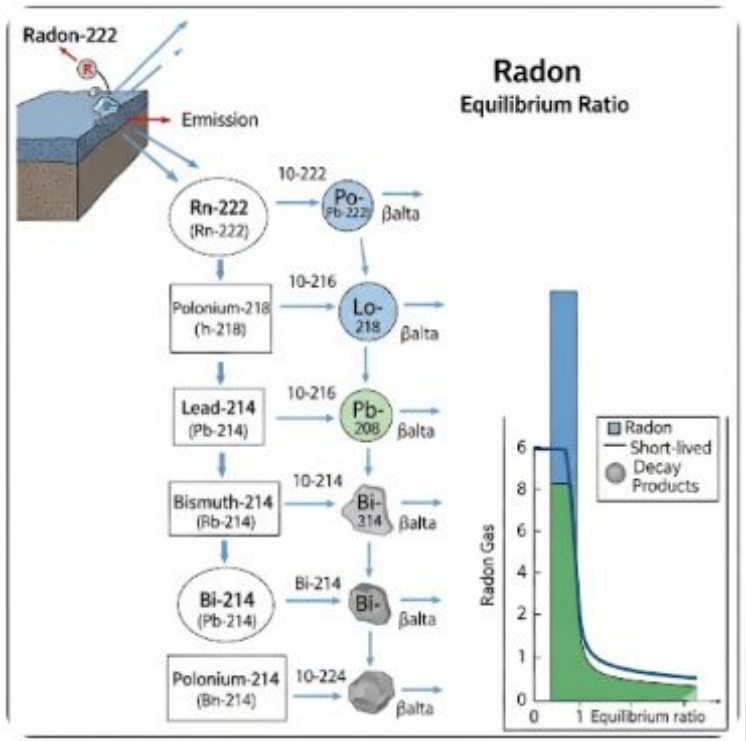
Concentración total de productos de desintegración del radón presentes, dividida por la concentración que existiría si los productos de desintegración del radón estuvieran en equilibrio dinámico con la concentración de radón

Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (FE)

Relación entre descendientes de vida corta y el radon

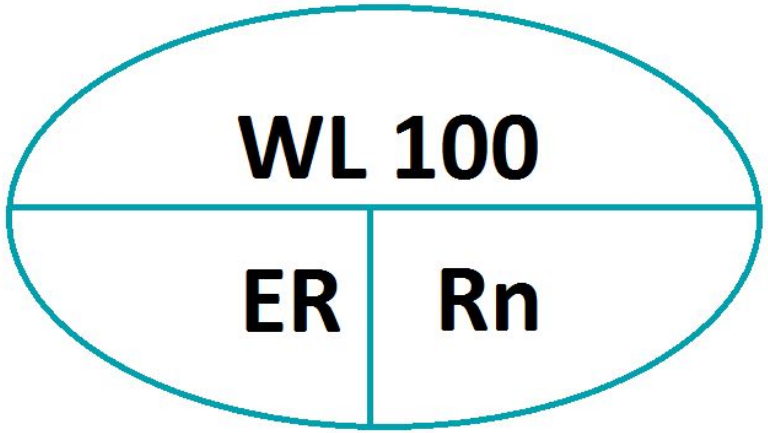
Factor de equilibrio varía entre 0,3 y 0,7 **- ICRP FE= 0.4**

150 Bq/m3 produciría entre 0,012 y 0,028WL



FE = WL valor x 100

Conc. Radón



$$Rn = \frac{WL \times 100}{FE}$$

$$\mathbf{WL = \frac{Rn \times FE}{100}}$$

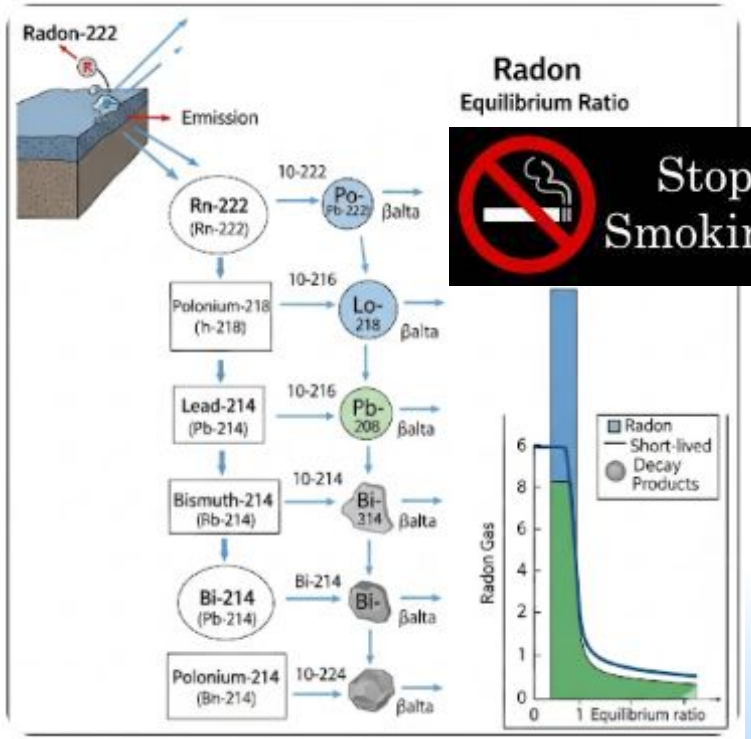
Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (FE)

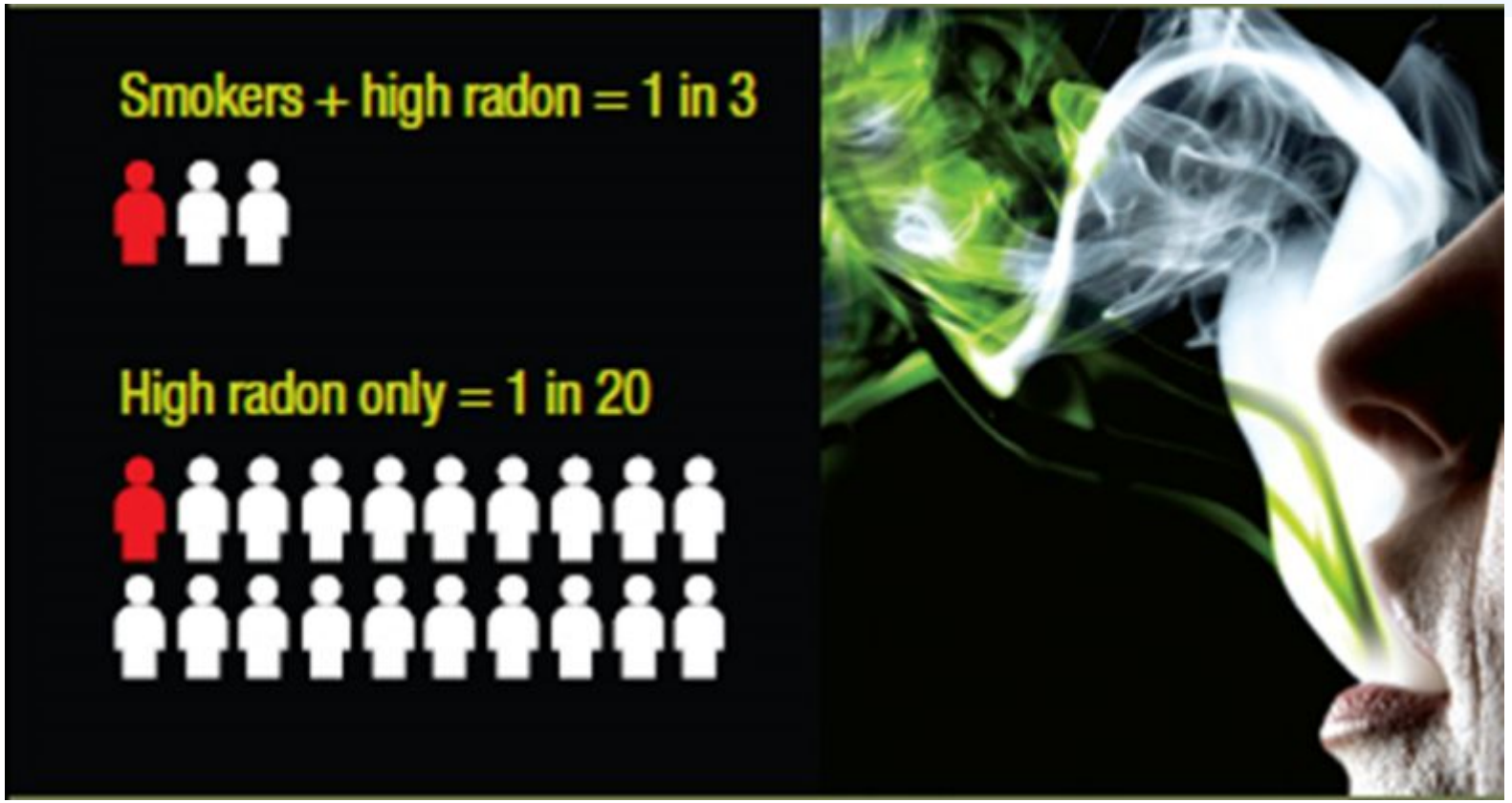
Riesgos: Efecto sinérgico del fumar (Po 210, >5 Rem – 0.05 Sv)

El humo afecta el **Factor de equilibrio - ICRP FE= 0.4**

Alexander Litvinenko - 1998









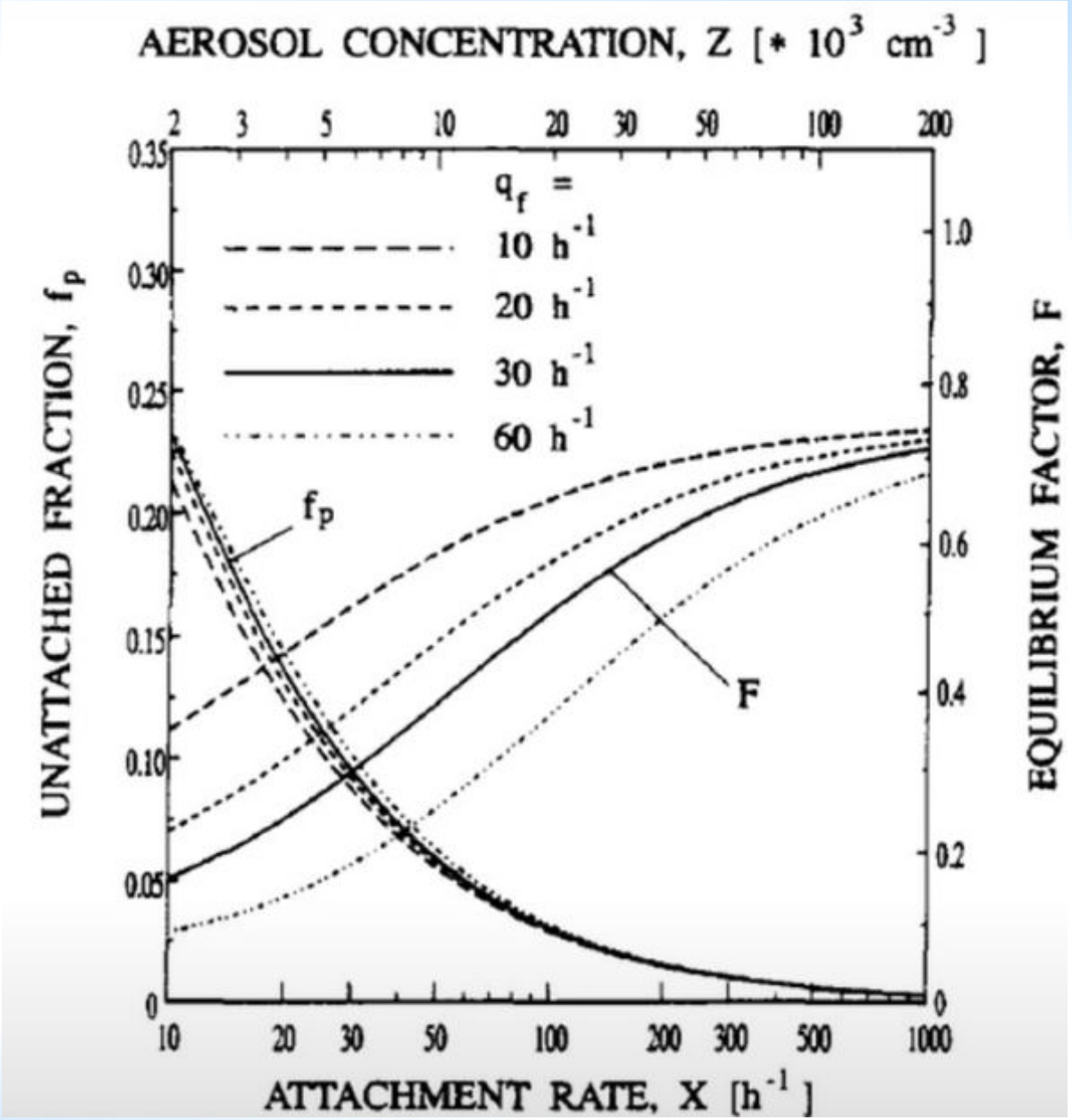
Los fumadores inhalan polonio 210 – mas radiacion que recibida por trabajadores en planta nuclear (> 0.05 Sv)

Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (FE)

Relación entre descendientes de vida corta y el radon

- PDRs Dificil de medir
- Cuesta medir

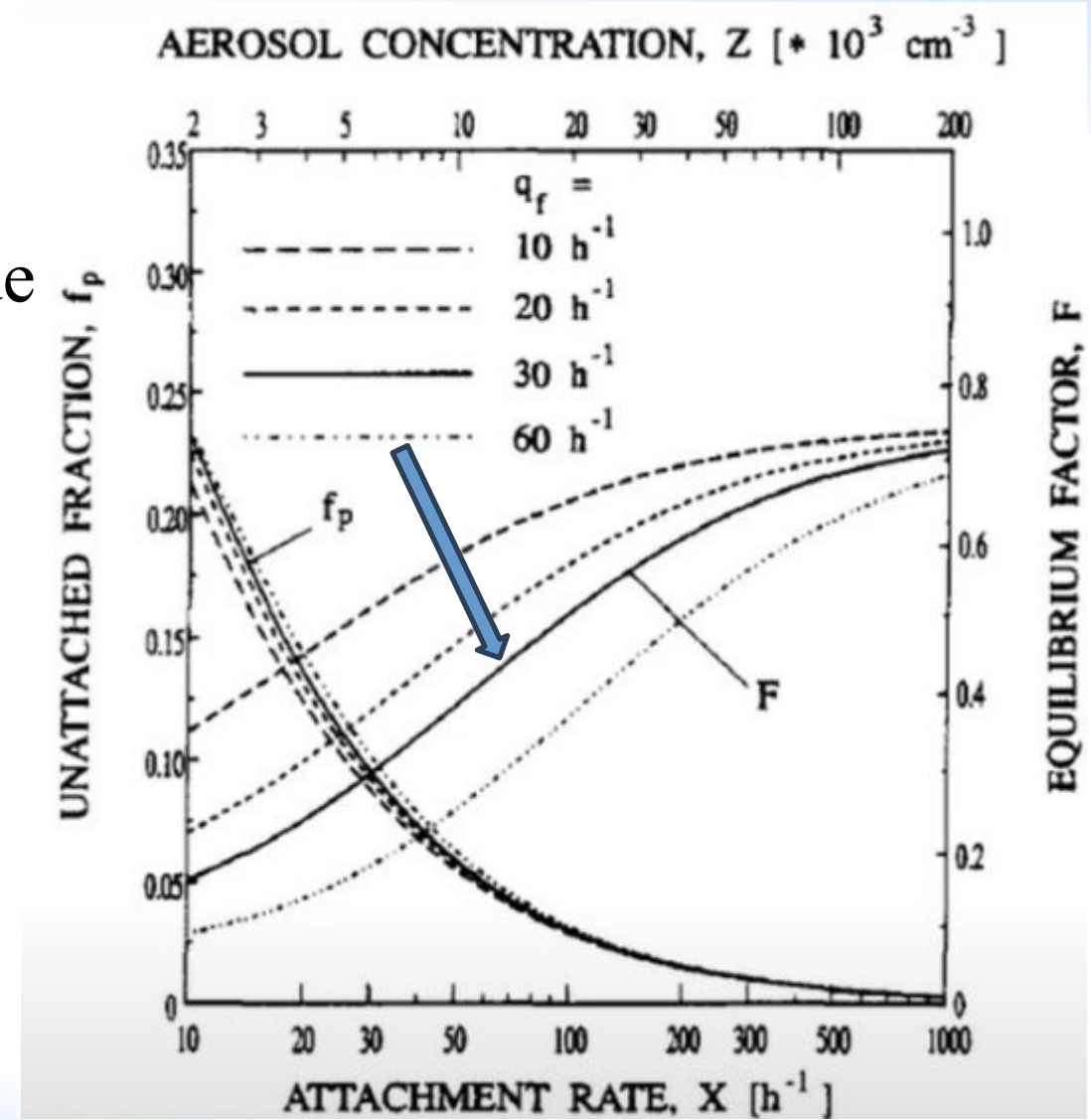
- Numero de particulas
- Factor de equilibrio
- Fracción libre



Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (F)

Relación entre descendientes de vida corta y el radón

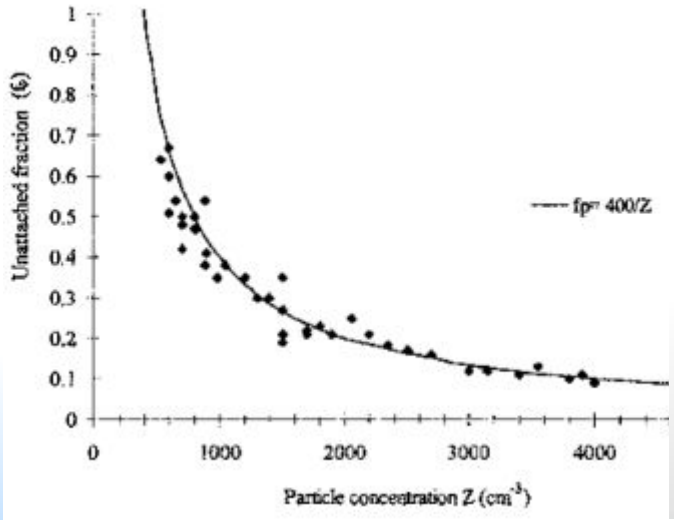
- **Numero de partícula**
  - Si aumenta particulas aumenta el factor de equilibrio ya que hay mas particulas que pueden recibir descendientes de radon
- **Fracción libre**
- **Factor de equilibrio**

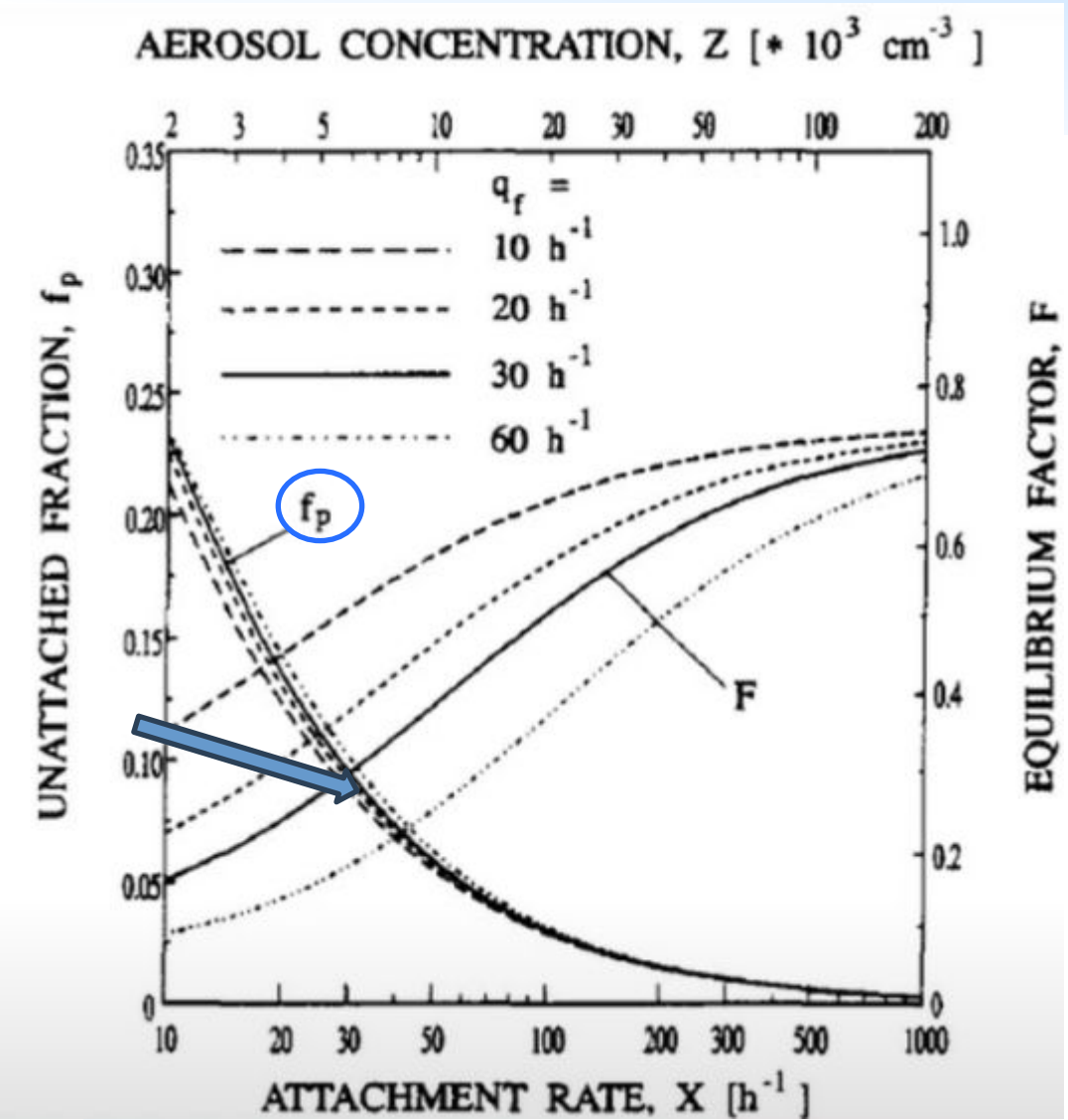


Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (F)

Relación entre descendientes de vida corta y el radón

- Numero de partícula
- **Fracción libre f_p**
  - Si aumenta el numero de partículas aerosoles la fracción libre disminuye
  - Atomos Rn entran a los alveolos
- Factor de equilibrio

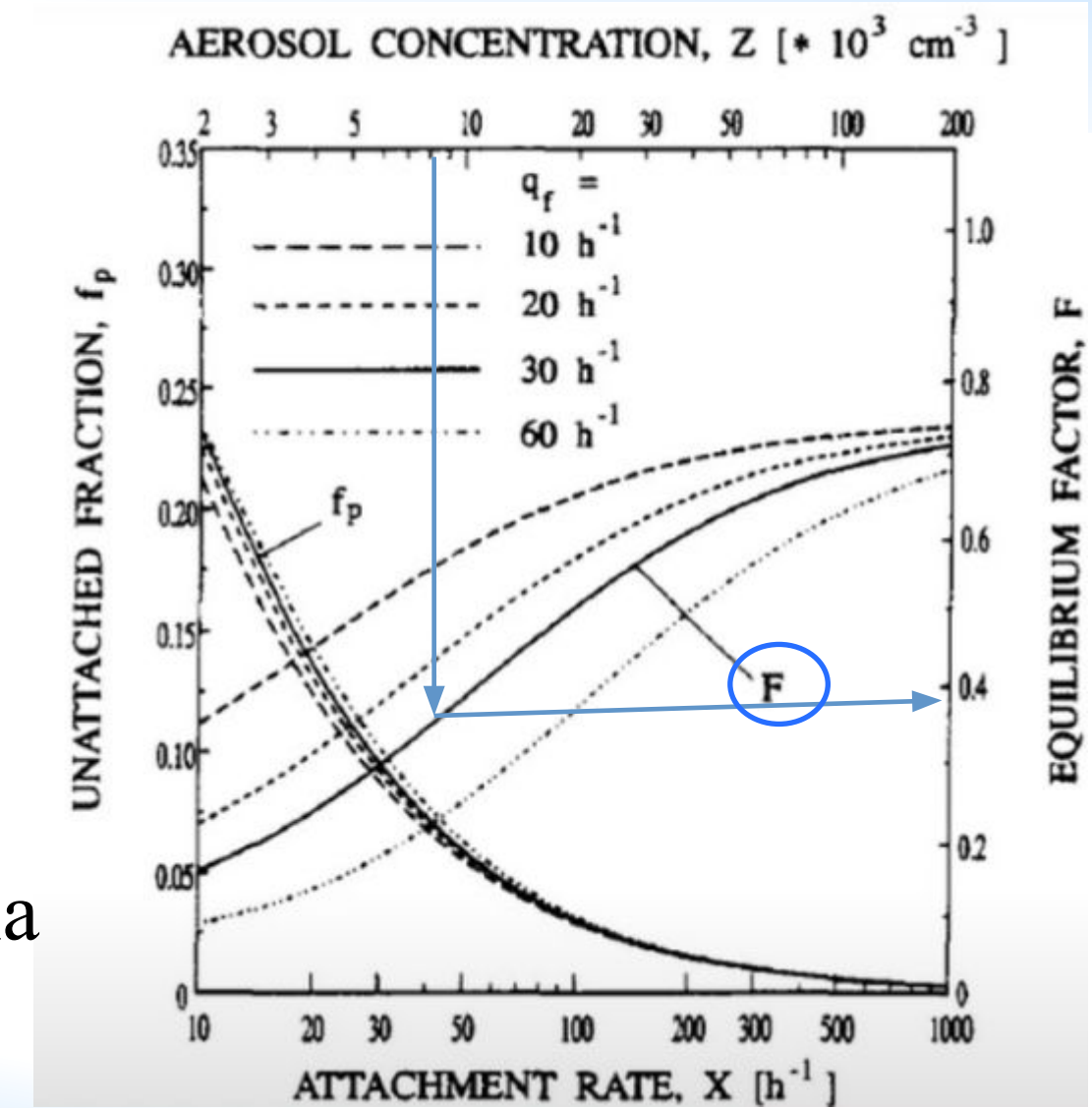




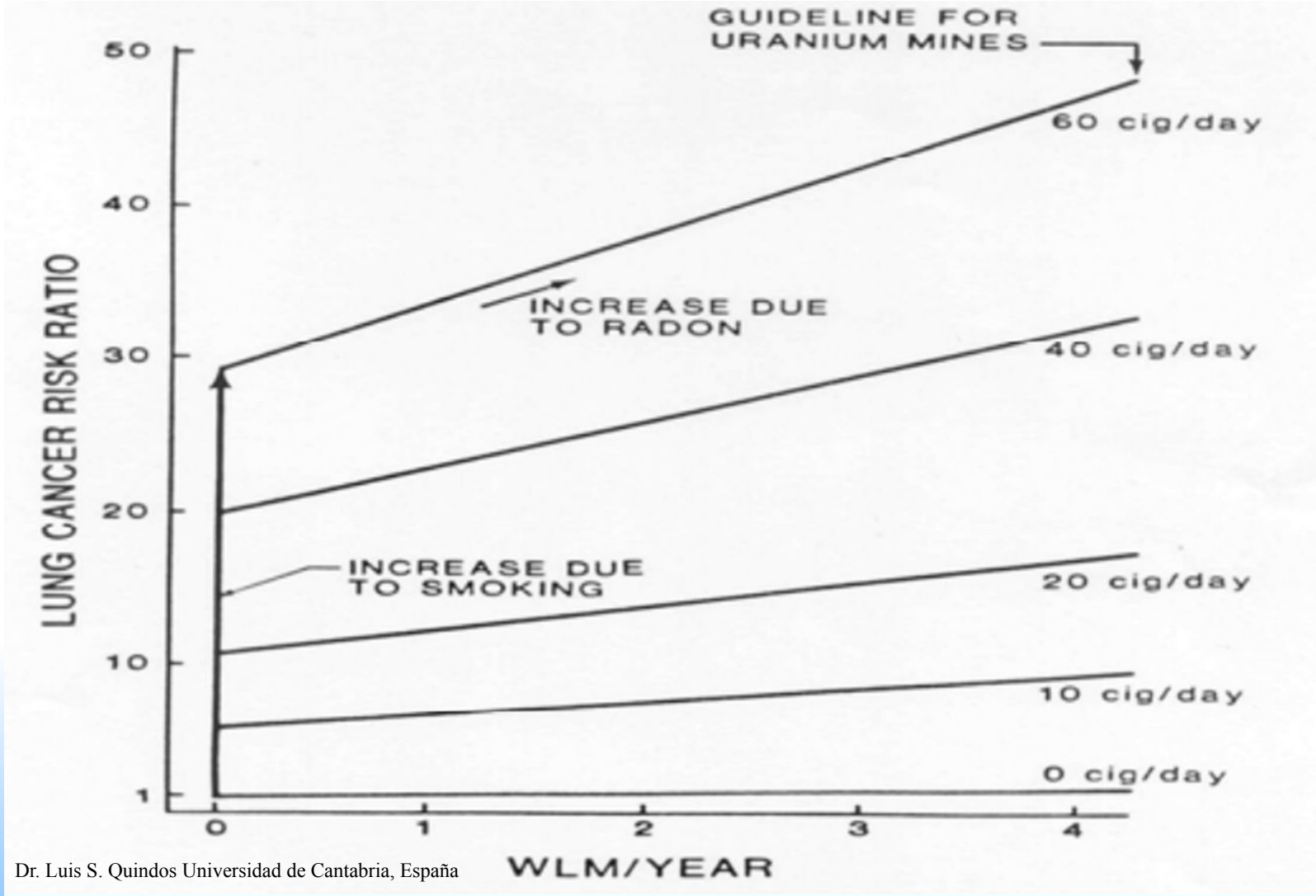
Entrada de Radón – Factor de Equilibrio (F)

Relación entre descendientes de vida corta y el radón

- Numero de partícula
- Fracción libre
- **Factor de equilibrio**
  - Casas tienen 5000 y 6000 partículas
  - La fraction libre se encuentra a un factor equilibrio de ~ 0.4 ICRP
- **Dosis** es debida a la **Fracción vinculada** de los descendientes, no a la fracción libre



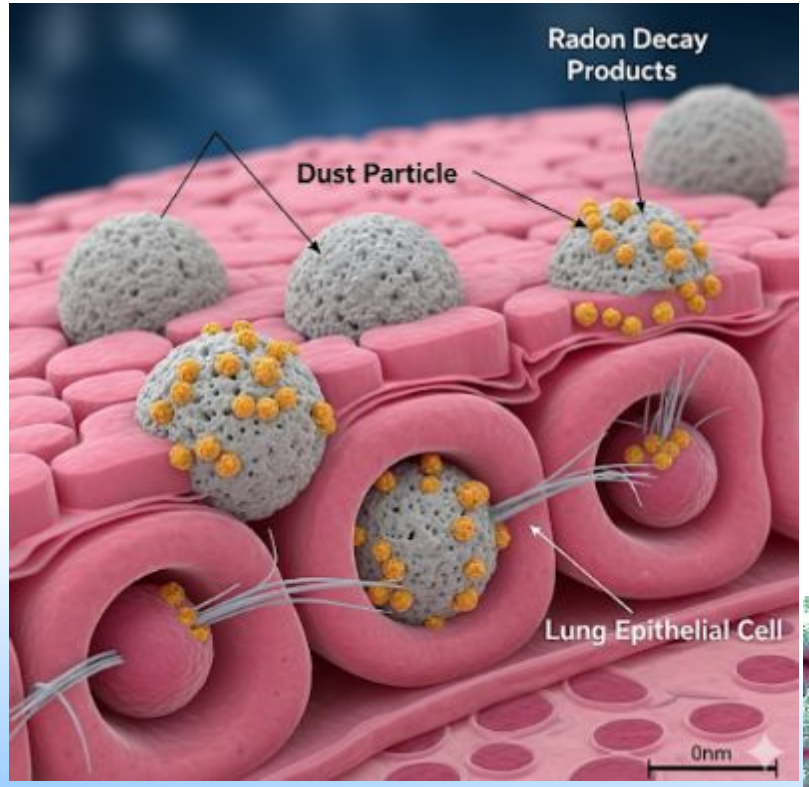
Sinergía de consumo de Tabaco a 900 bq/m3 de Rn



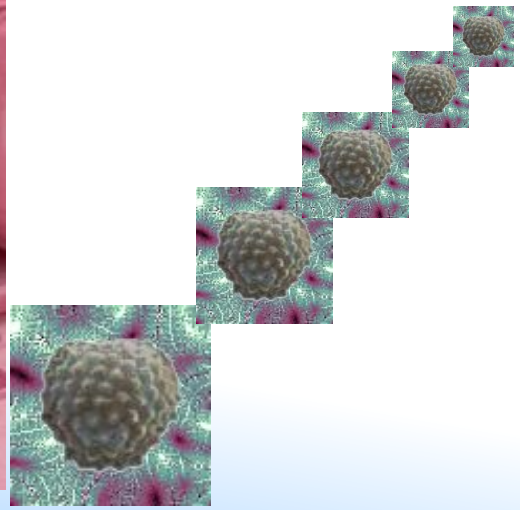
- Exposición acumulada de radón por el tiempo –riesgo a fumadores sube
- WLM es proporcional a la exposicion medido mes a mes
- Si sube la concentración de Rn (WLM), el riesgo sube
- ICRP 137 – 10 mSv/WLM y 20 mSv/WLM en cuevas

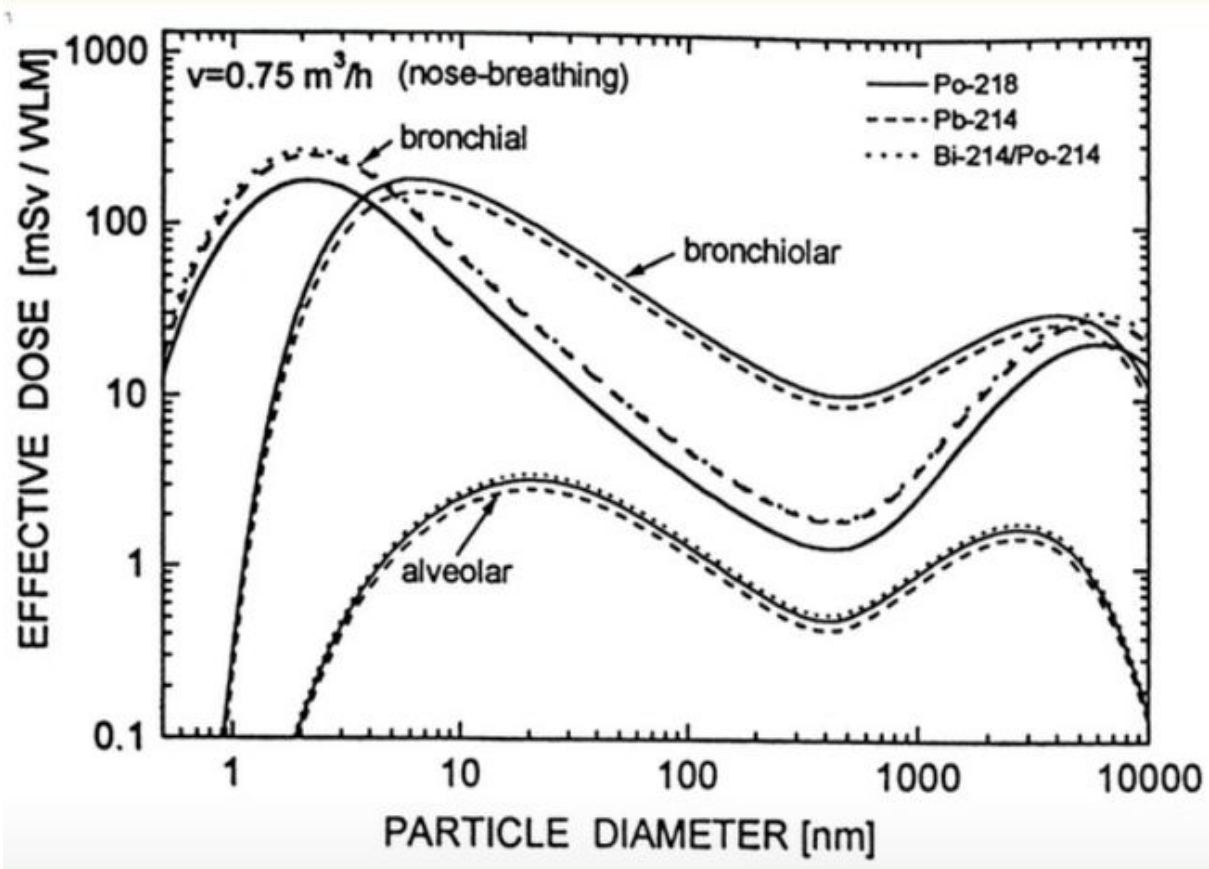
Entrada de Radón – descendientes de vida corta

- Partículas entran a los pulmones – dosis efectivas
- Depositadas por tamallo de particulas



- Alveolos
- Bronchios

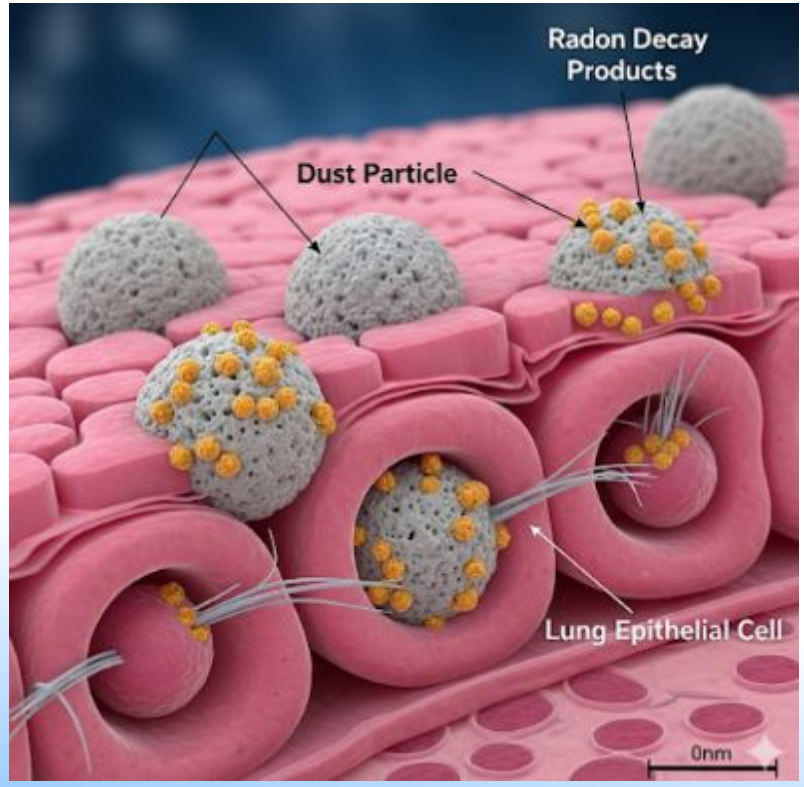




Ref: Porstendorfer and Reinniking, 1998

Entrada de Radón – descendientes de vida corta

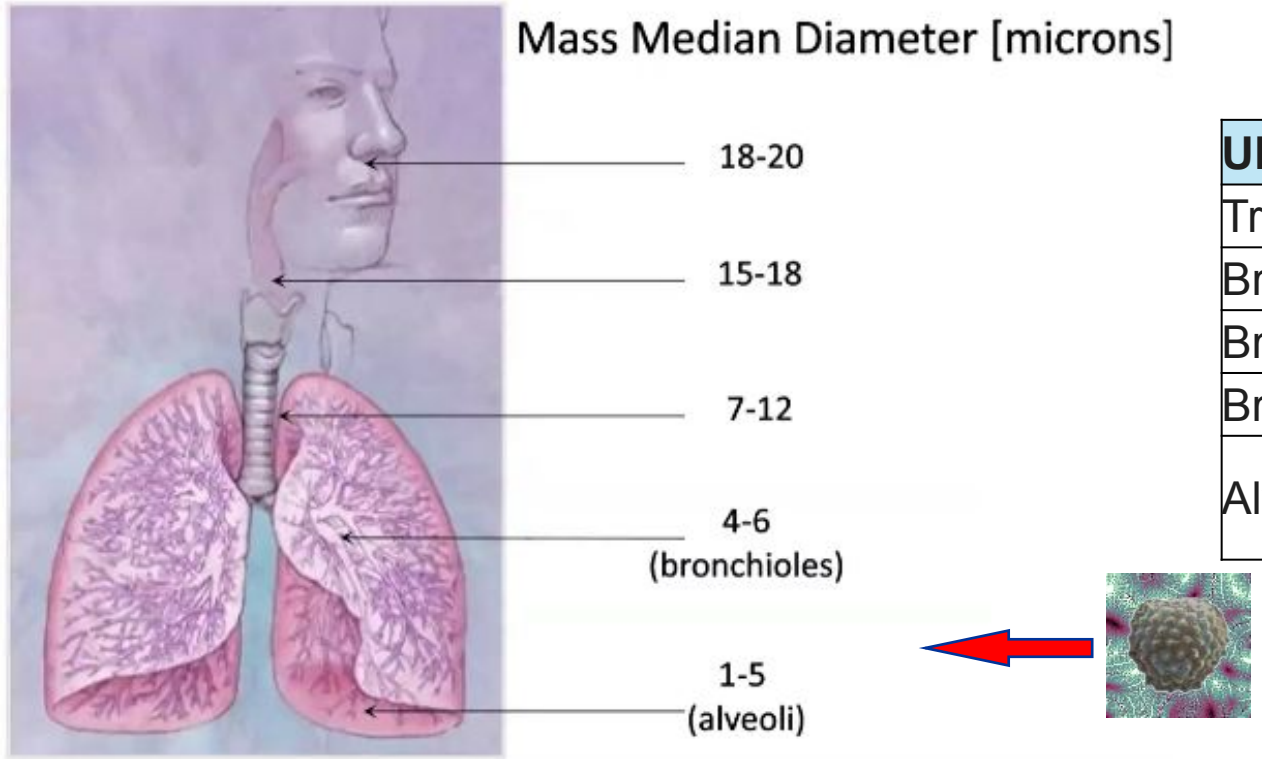
- Descendientes de vida corta son generados constantemente por sus fuentes y se forman en el aire



- Se pegan a las partículas de polvo y tejido pulmonar – irradian y pueden causar cáncer
- Llevan energía alfa directamente al pulmón
- Estos descendientes tienen interacción mas poderosa en los fumadores de tabaco
- Carcinógeno de clase A.

Entrada de Radón – descendientes de vida corta

PDRs se atrae a particulas de polvo. Este se adhiere al tejido del epitelio bronquial el tiempo suficiente para pasar desintegración radiactiva y dañar las células pulmonares y el ADN



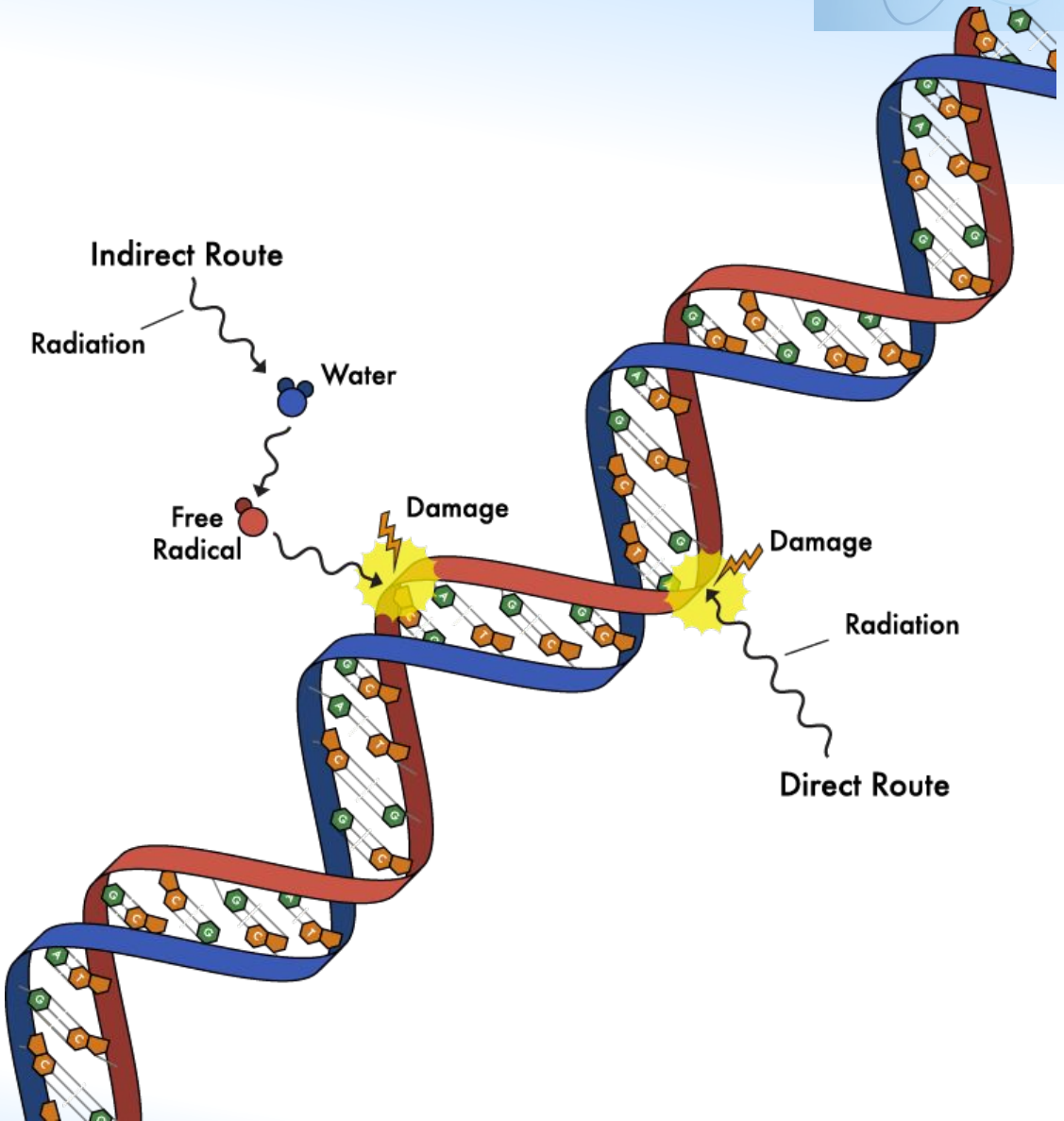
Ubicación	Tiempo
Tráquea	0.1 hr
Bronquios	1 hr
Bronquiolos	4 hr
Bronquiolos terminales	10 hrs
Alvéolos	> 100 Días

Tiempo de depuración en el tracto respiratorio

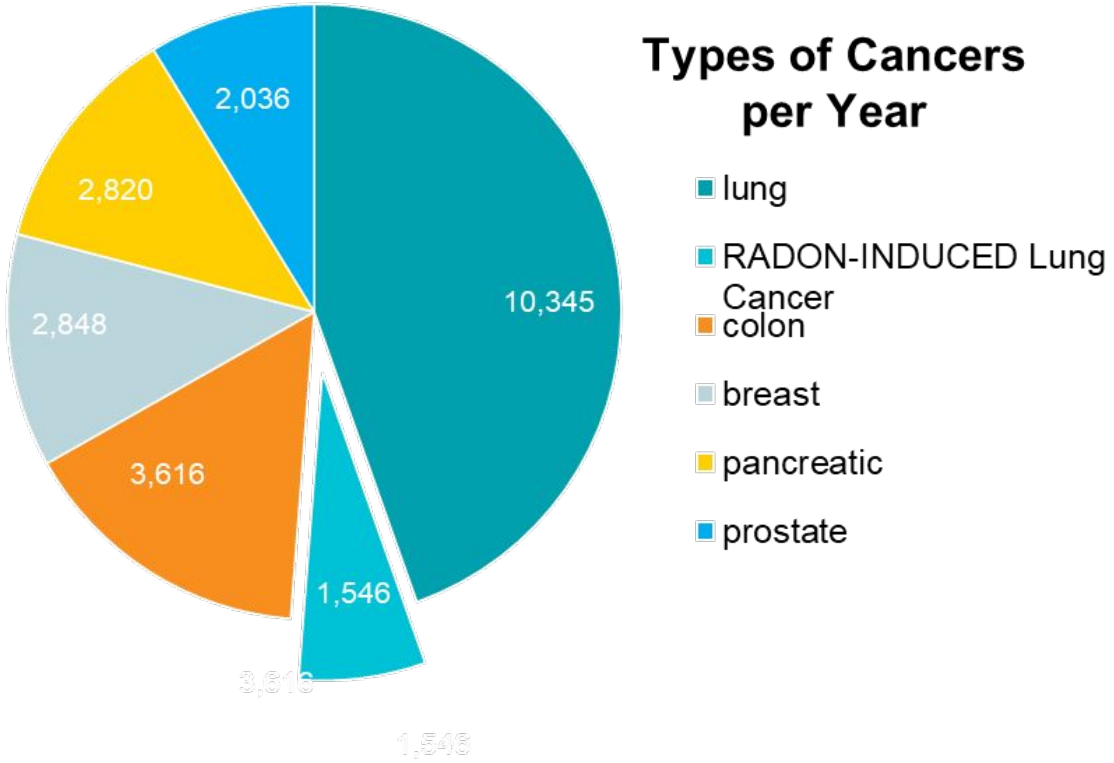
Entrada de Radón – descendientes de vida corta

- PDR afectan la salud

- Partículas alfa pueden dañar el ADN de las células pulmonares
- Daños al ADN:
  - ADN es reparado
  - La celula muere
  - ADN incorrectamente reparado - crecimiento canceroso
- Carcinógeno de clase A.



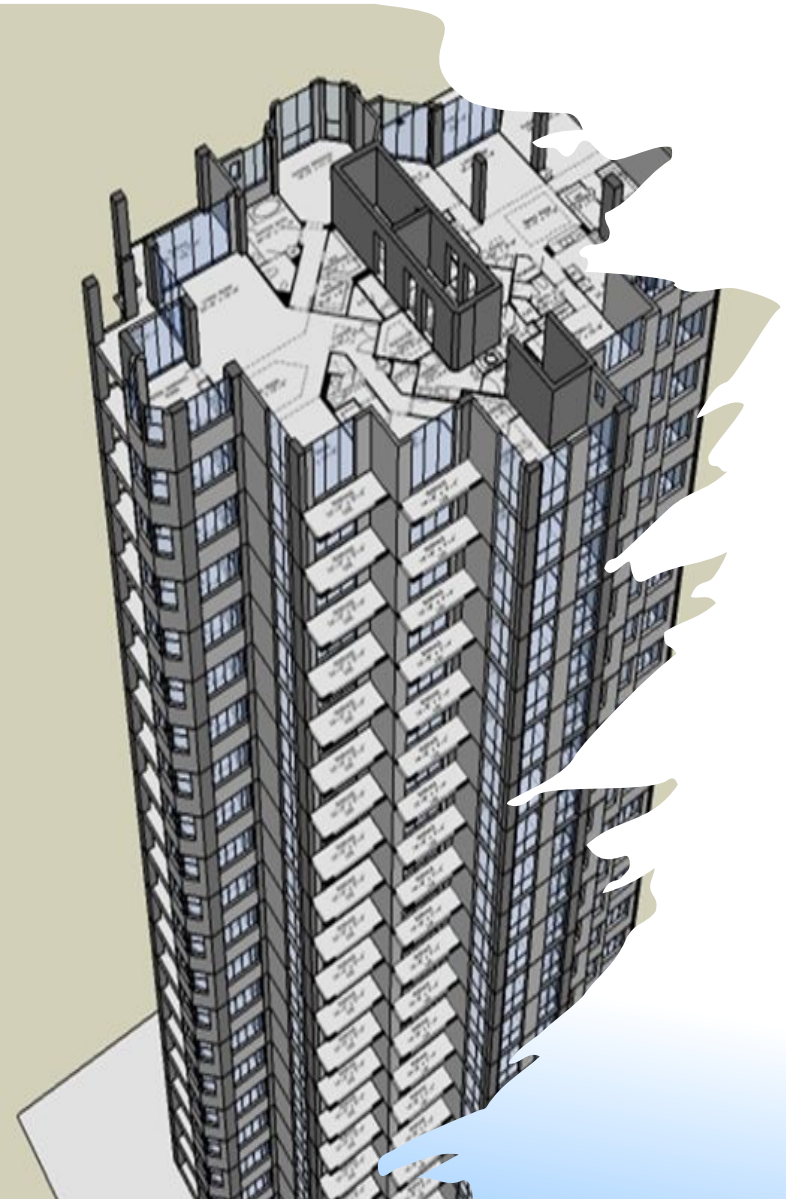
Entrada de Radón – descendientes de vida corta



- El cáncer es la principal causa de muerte en Estados Unidos
- El cáncer de pulmón causa más muertes que el cáncer de colon, mama y páncreas combinado
- Se estima que el cáncer de **pulmón** inducido por el radóny PDRs representa el **13%** de todos los cánceres de pulmón

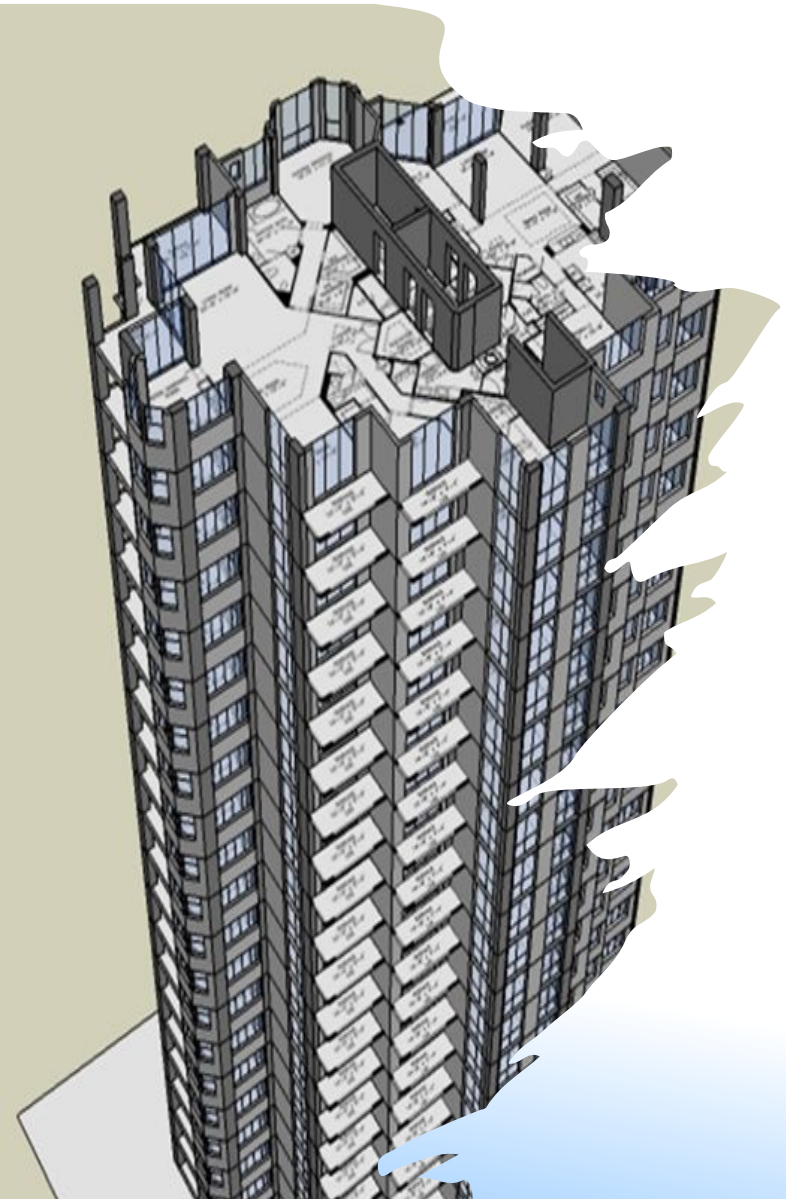
SOURCE: Florida Cancer Data System, 2012
http://fcds.med.miami.edu/inc/welcome.shtml

Entrada de Radón - material de construcción



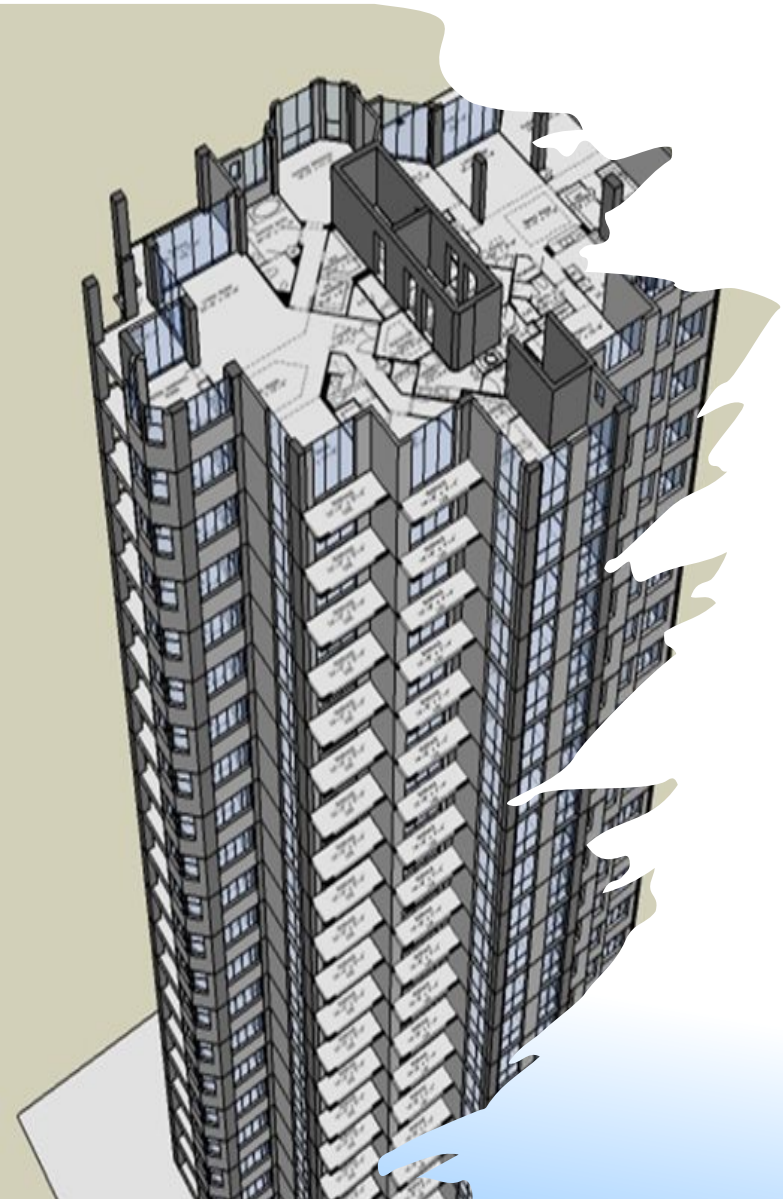
- Según el área del estado, entre el 1-70 % de los edificios tienen niveles elevados de radón
- En todo el estado, se encuentran niveles elevados de radón en 1 de cada 5 casas
- Niveles elevados se encuentran en diferentes tipos de estructuras, como viviendas unifamiliares, apartamentos y hasta en el piso 30 de un condominio (Miami)

Entrada de Radón - material de construcción



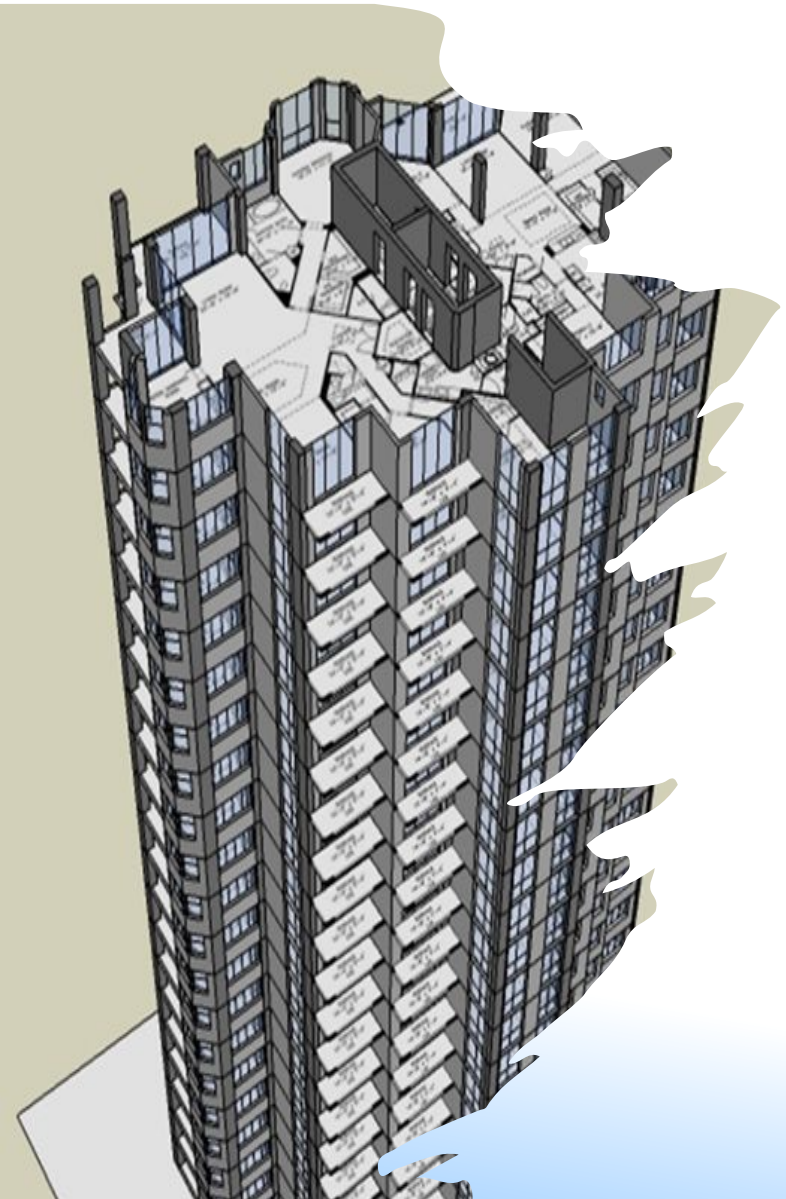
- Condominios de 3 a 20 pisos han tenido concentraciones medidas de radón > 148 Bq/m3 (4)
- Florida ~ 1/3 de las unidades por encima del cuarto piso con resultados de radón > 150 Bq/m3 (referencia)
- Resultados de la prueba de puerta soplante: 0,05 – 0,18 ACH (normal > 1 cambio de aire por hora)

Entrada de Radón - material de construcción



- Radón máximo medido en estudio: 173 Bq/m³ en el quinto piso.
- Radón máximo medido por personal certificado: 648 Bq/m³ en el piso 16
- 785 unidades de 323 edificios > 150 Bq/m3

Entrada de Radón - material de construcción



- Estamos utilizando modelo CONTAM para simular flujos de aire y concentraciones de radón en edificios, explorar posibles fuentes de radón y mecanismos de entrada e identificar medidas de control efectivas

Entrada de Radón - material de construcción

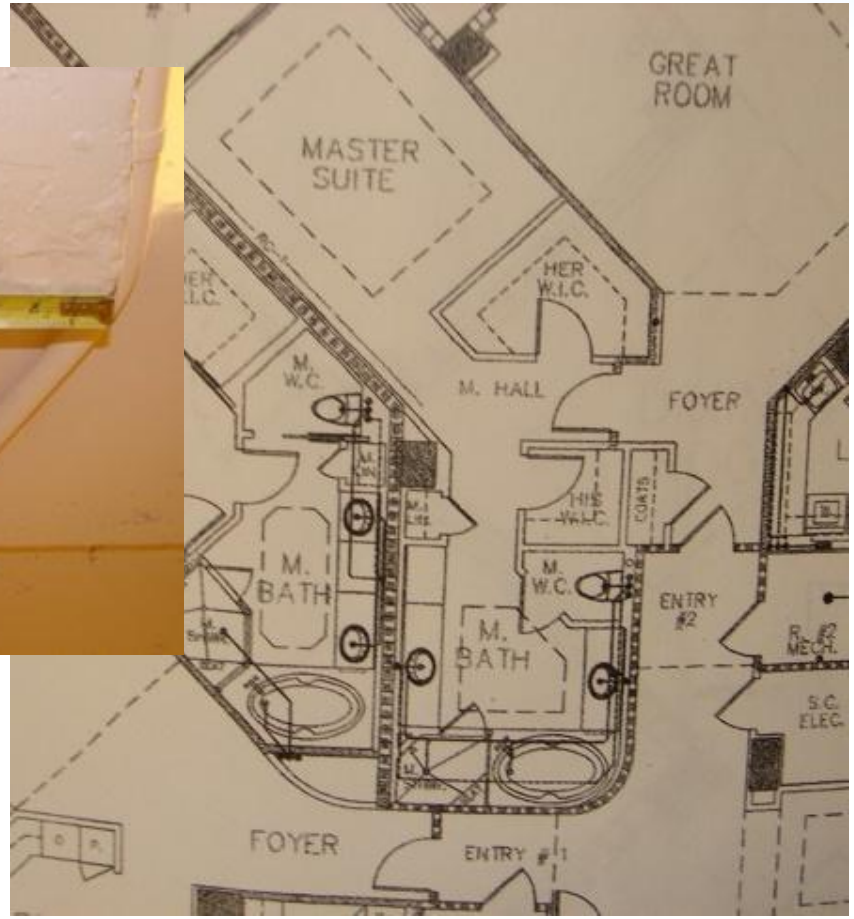
Disposición y dimensiones de las unidades establecidas por una variedad de fuentes



Materiales de venta



Inspección y Medición



Documentos de permiso



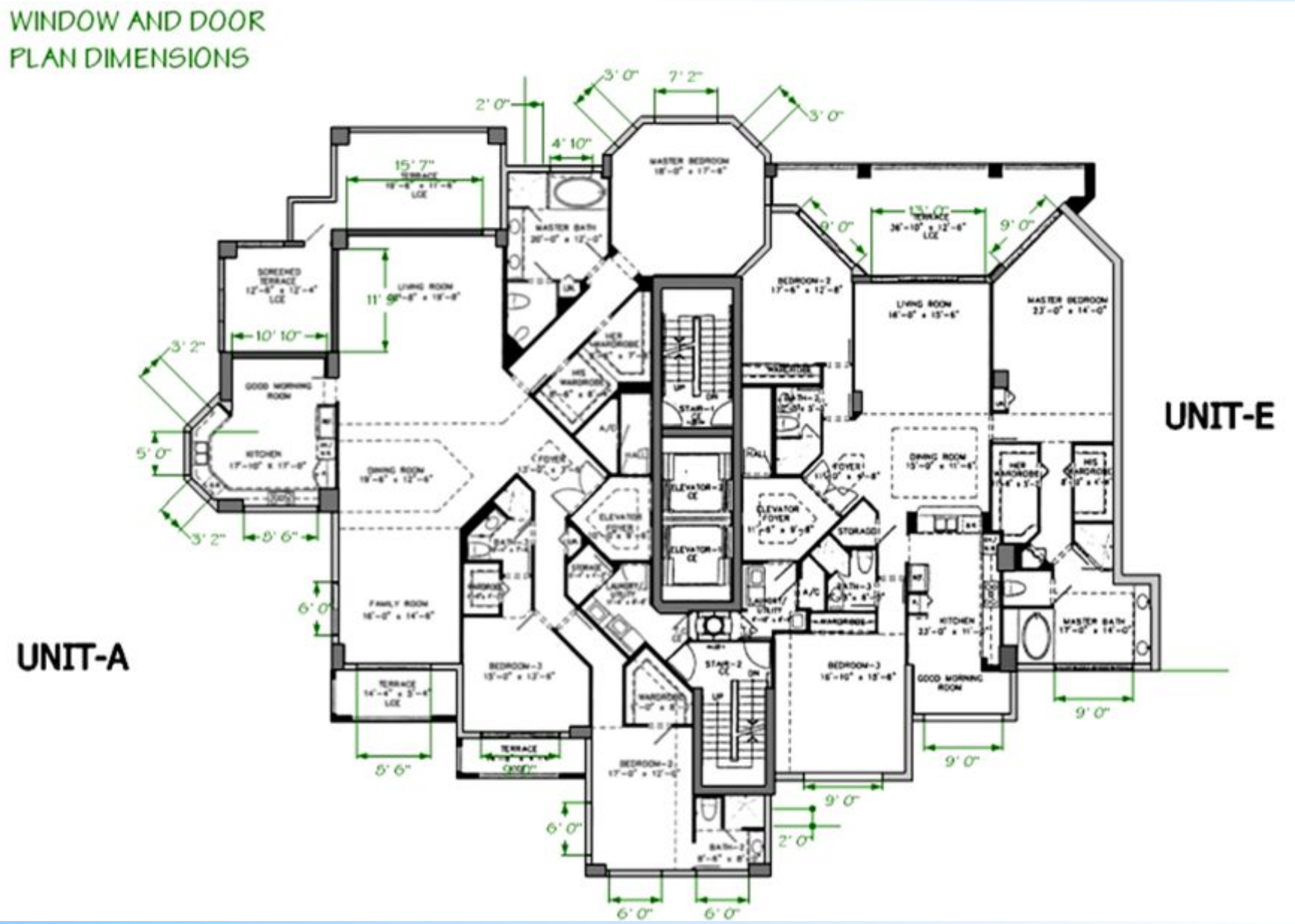
Entrada de Radón - material de construcción

Modelo de diseño y características físicas





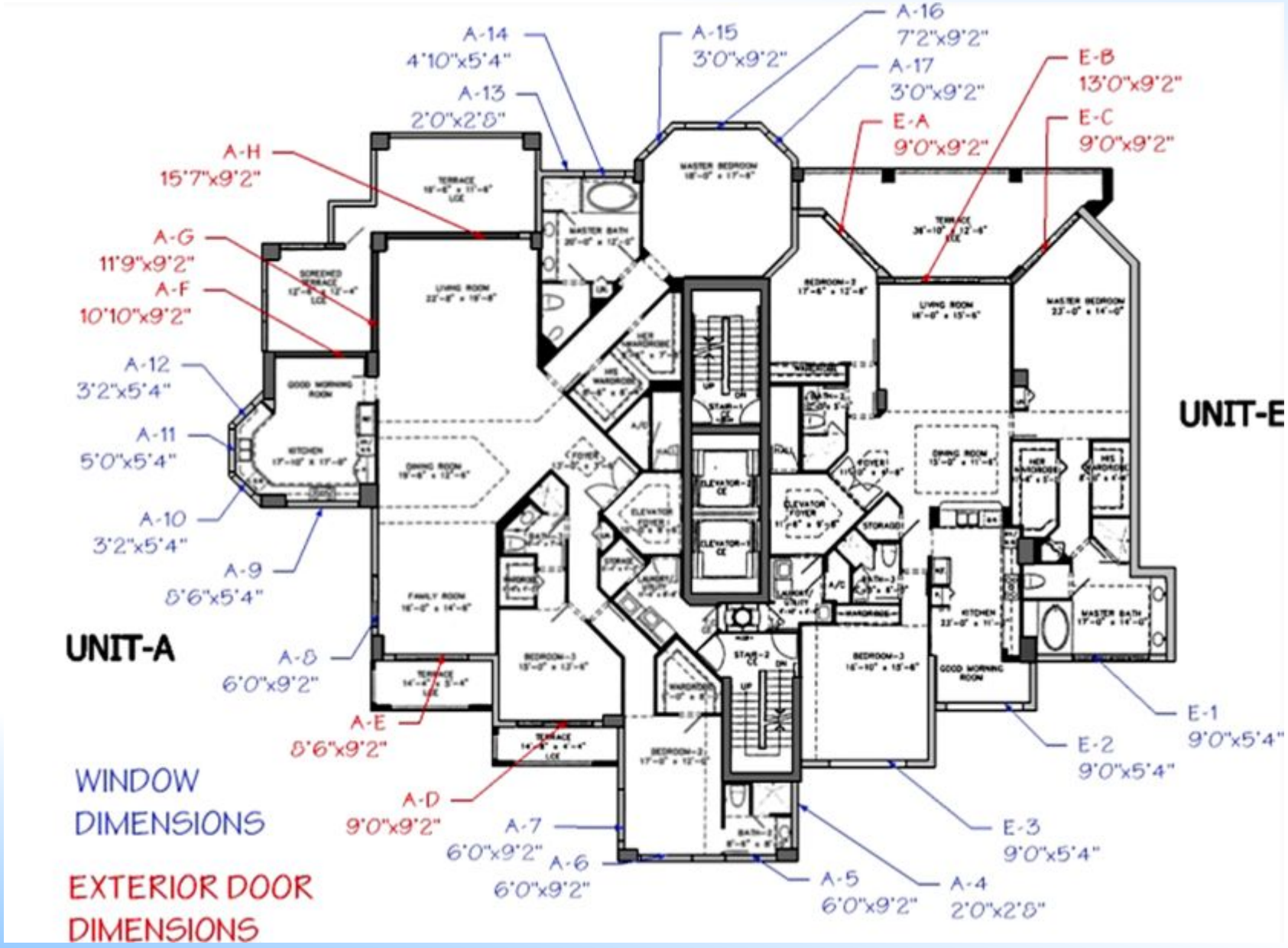
Entrada de Radón - material de construcción



Determinamos dimensiones críticas



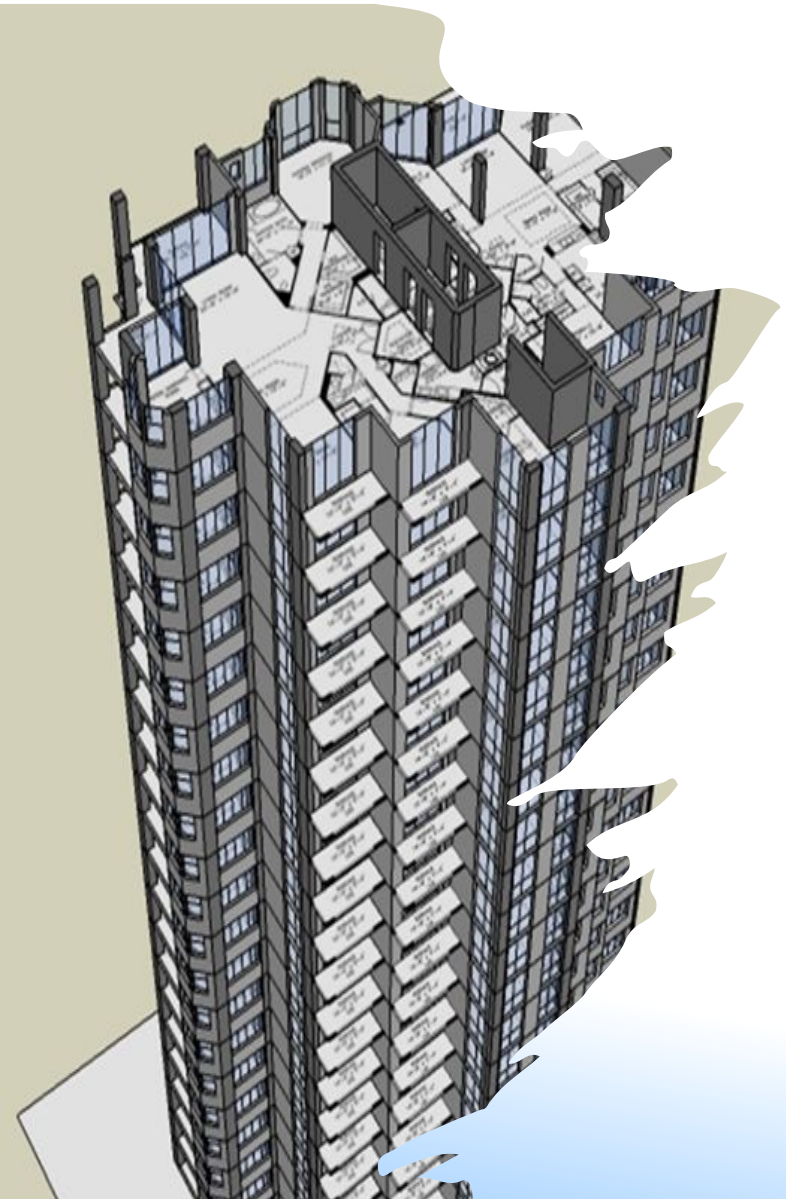
Entrada de Radón - material de construcción



Se caracterizaron los elementos de flujo



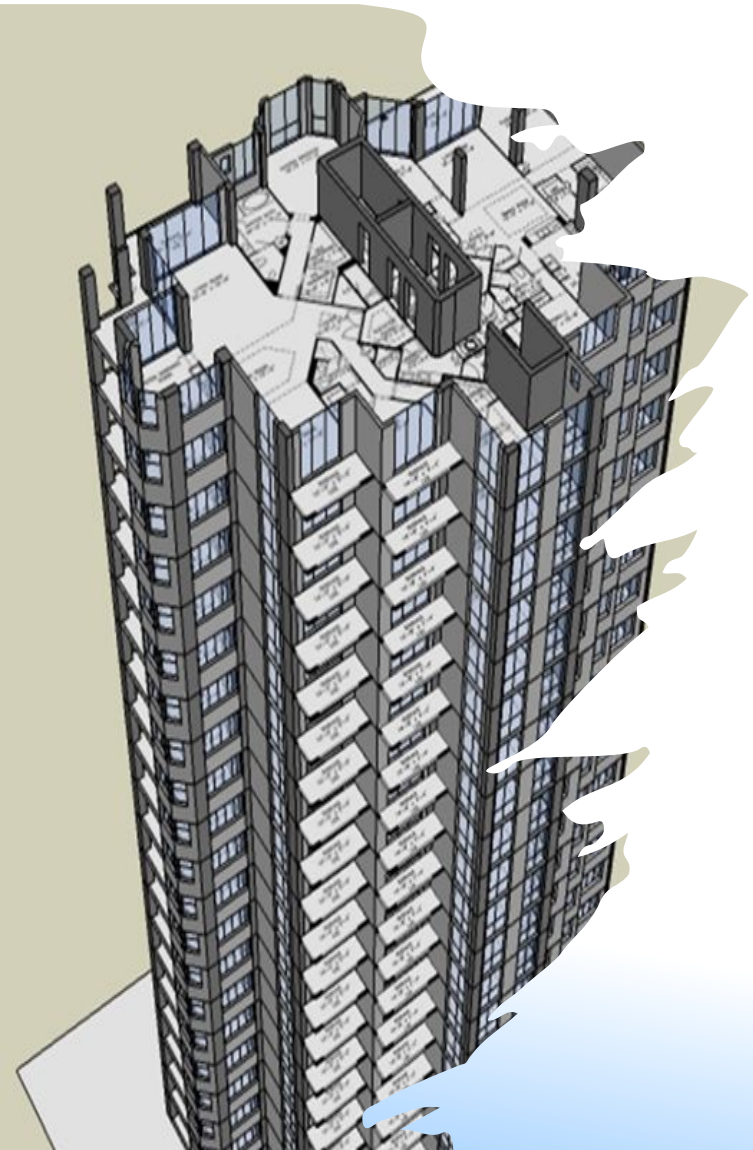
Entrada de Radón - material de construcción



- Combinamos los pisos para crear los modelos de edificios
- Establecimos rutas de flujo para cada punto de entrada (puertas, ventanas, penetraciones eléctricas y de plomería, etc.)



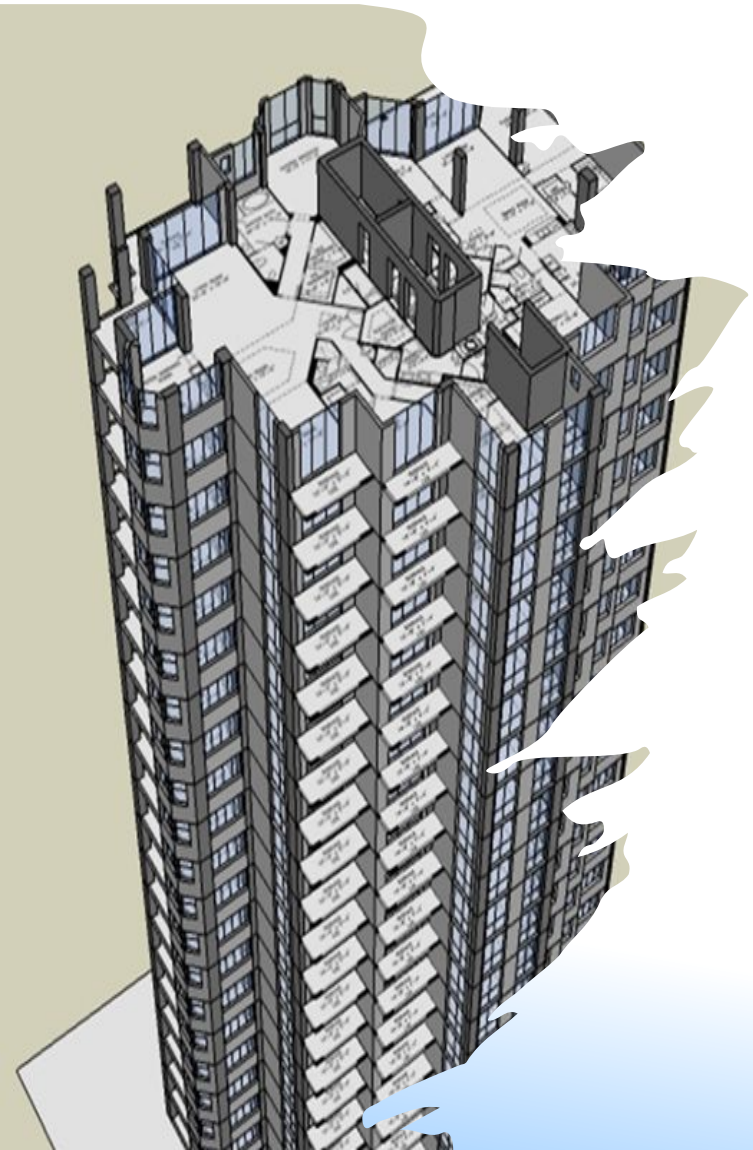
Entrada de Radón - material de construcción



- Tienen estacionamientos debajo
- Canales de utilidad conectando todos los pisos
- Vigas de apoyo perforado
- No aplicaron construcción resistente al radón



Entrada de Radón - material de construcción



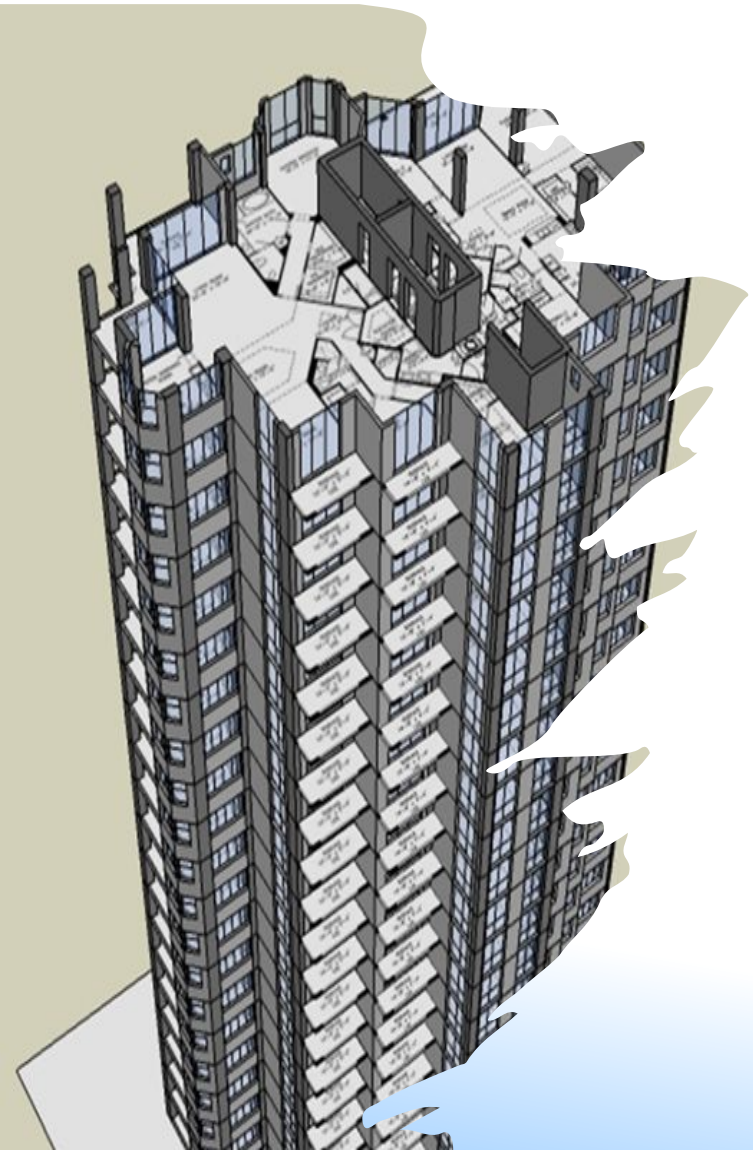
Edificios Multifamiliares

	Medidas acreditadas	Promedio Bq/m^3	% Sobre 150 Bq/m^3
Statewide	> 50,000	148	37%
Lee & Collier Promedio sobre 4º piso	785	173	35%

Concentración de radón observada en niveles más altos 100 Bq/m^3 piso 11 - 333 Bq/m^3 – piso 27

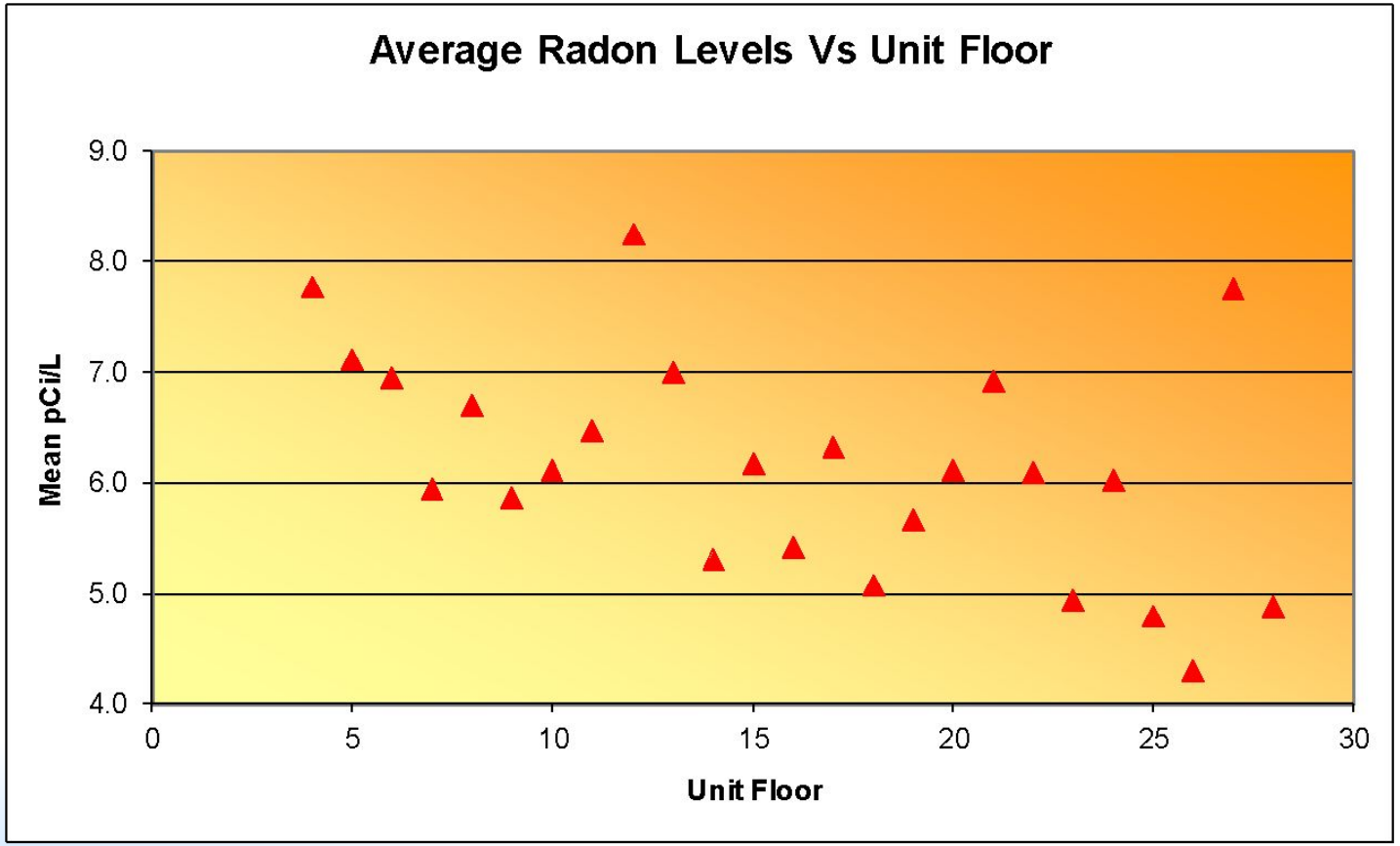


Entrada de Radón - material de construcción



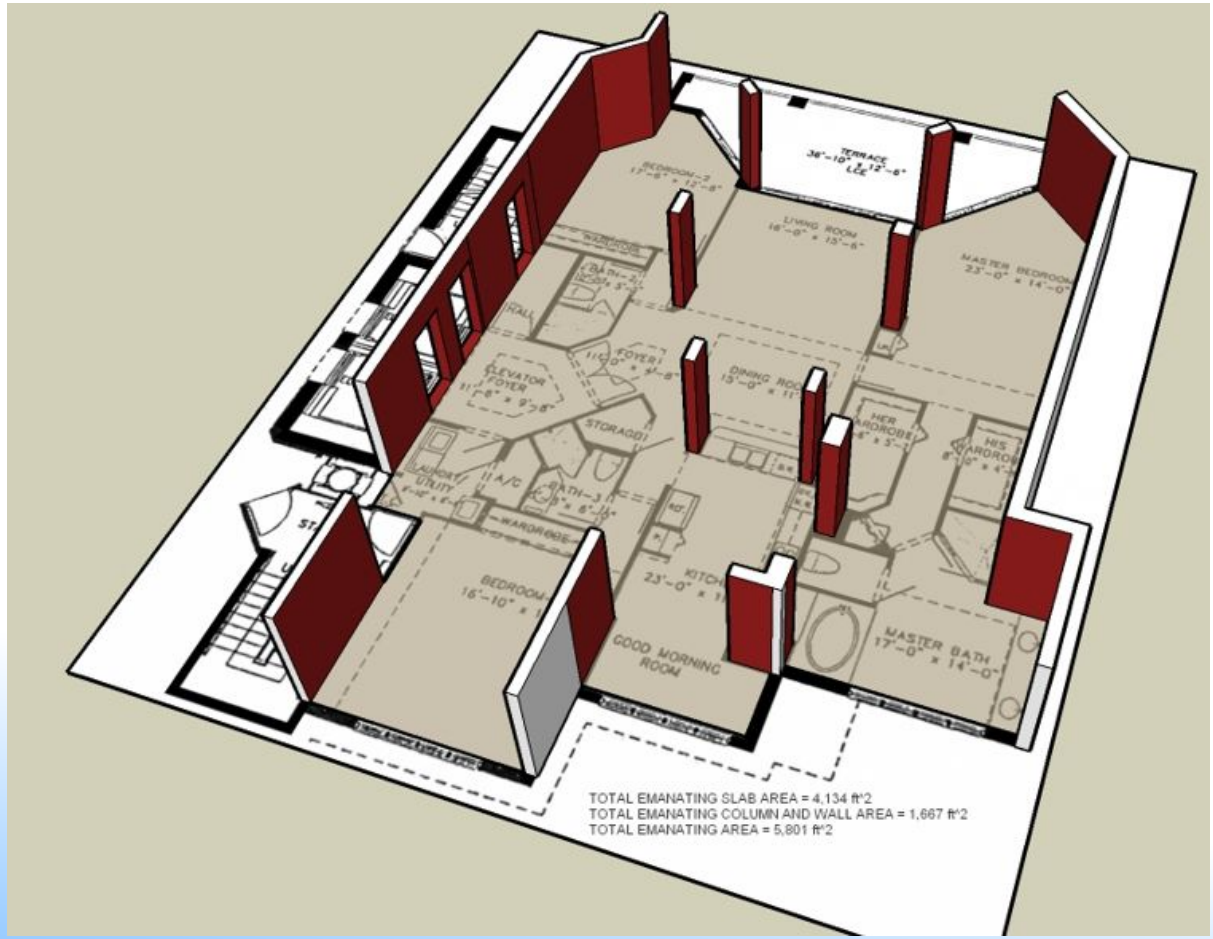
¿Ves una tendencia?

Promedio ~ 260 Bq/m^3



Entrada de Radón - material de construcción

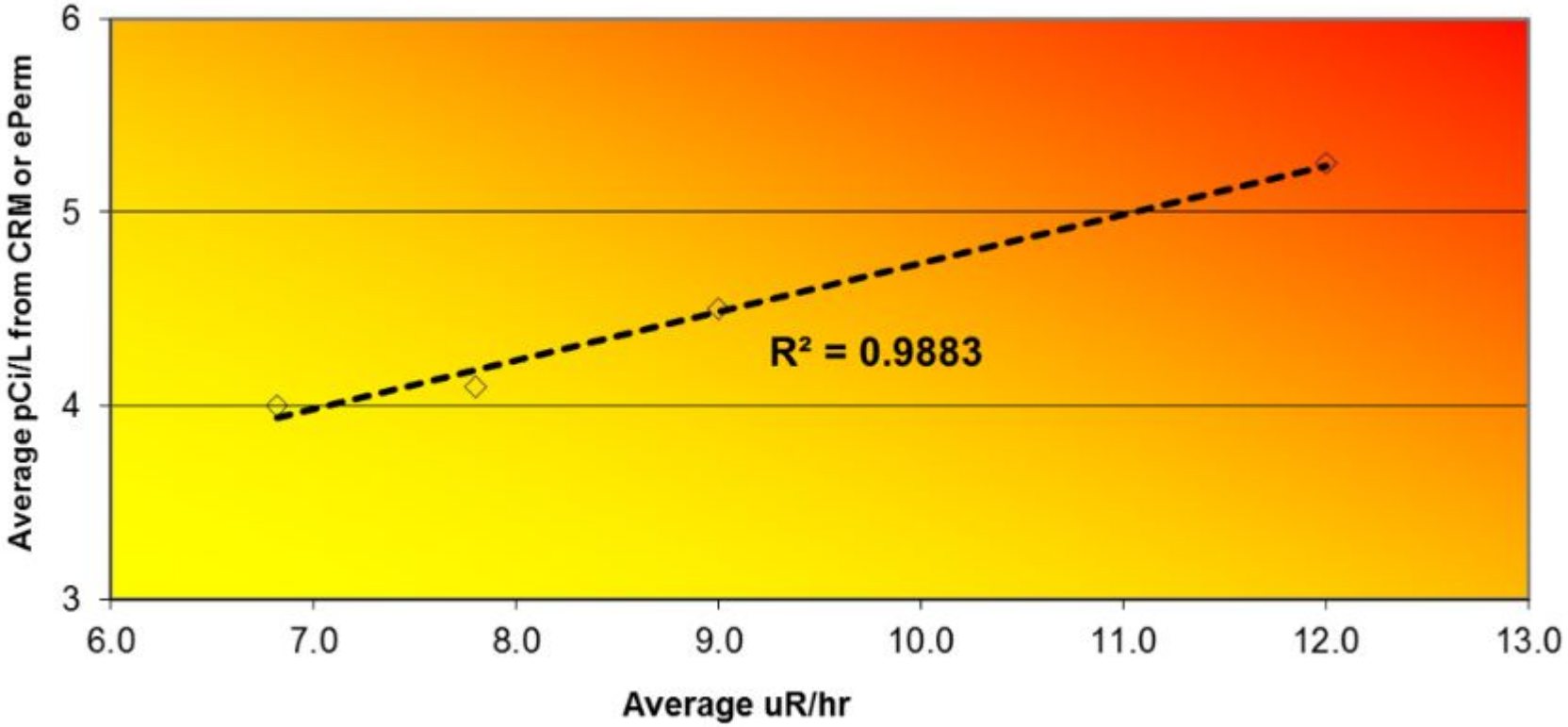
- Modelo muestra las posibles áreas de emanación de una unidad. El área total permite calcular las tasas de emanación de radón



- Espacio de aire del canal de basura
- Posible transferencia de radón y otros gases



Entrada de Radón - material de construcción



Modelo en condominios
Emanación de Radón
en uR/hr

- Mediciones gamma de emanación de materiales de construcción (piso, techo, encimeras) reportadas en uR/hr
- Varias mediciones de radón en cada unidad con dispositivos de radón E-Perm o monitores continuos de radón
- El coeficiente de determinación o valor **R cuadrado** de la correlación entre la emanación de radón y la concentración de radón fue de **0,9883**. Indica una **correlación** fuerte entre la emanación **gamma** (construcción) y los niveles de **radón**

Entrada de Radón - material de construcción



Muestras del Material

Como regla general, 0,074 Bq/g de radio generan 150 Bq/m^3 de radón en el aire

		pCi/g ± 1σ Counting Error			
Lab #	Sample Type	Bi-214	Pb-214	Ra-226	Sum
104Z08	Core Sample	2.60 ± 0.05	2.85 ± 0.05	3.1 ± 0.2	8.55
105Z08	Stucco	0.53 ± 0.02	0.58 ± 0.03	0.9 ± 0.1	2.01

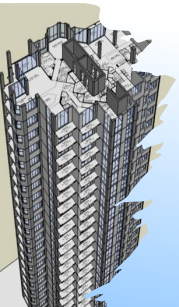


- Se tomaron muestras de hormigón de un edificio estudiado. Se trituraron y se analizó su contenido de radio
- Para que el radón en el aire sea inferior a 150 Bq/m3, el radio en el hormigón debe ser inferior a **0,074 Bq/g** , según la publicación EPA 600 S R-96107. El análisis mostró un contenido de valor de **0,115 Bq/g** (**1.6 mas** que la base)
- Indica que los materiales de construcción eran una fuente significativa de radón en estos edificios

Entrada de Radón - material de construcción

- Algunos de estos rascacielos tienen Tasas de ventilación deficientes – muy bajas

- Problemas de radón pueden ocurrir en cualquier piso de un edificio ya que el radón puede **emanar** de los materiales de construcción más rápido de lo que pueda ser ventilado.



Edificios multiniveles/Multifamiliares en Florida

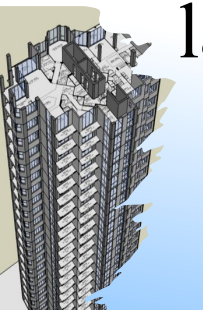


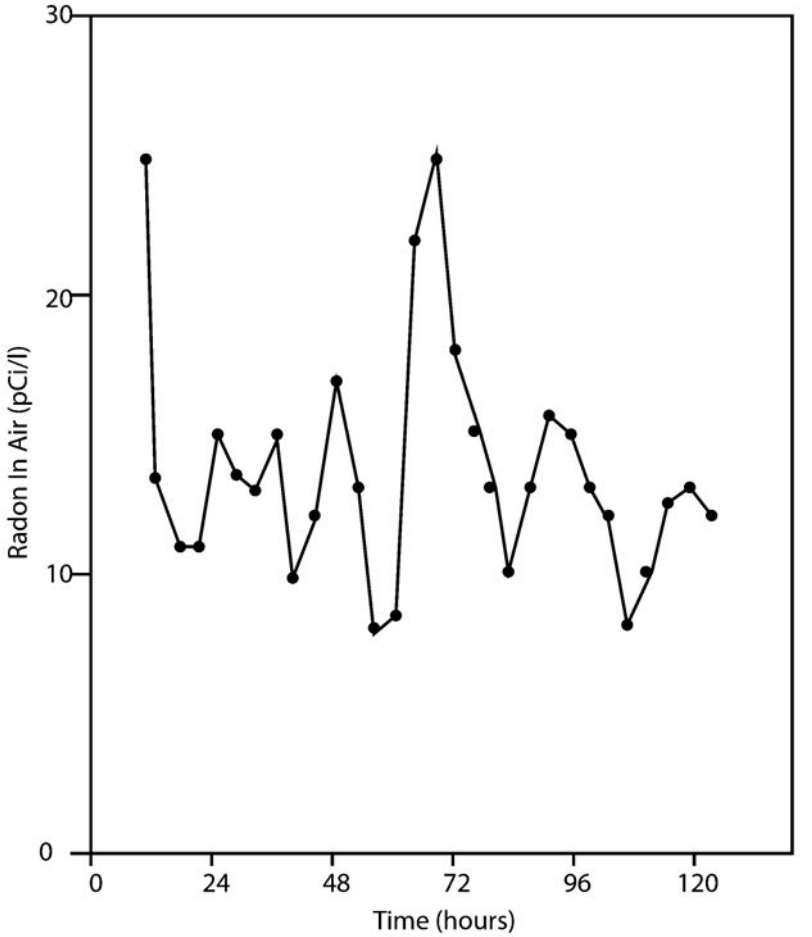
	Medidos	Promedio Bq/m³	% Above 148 Bq/m³	Notes
Statewide	> 27,500	148	37%	**Cualquier piso**
Statewide	>800	133	35%	Promedio **Sobre el 4º** piso
Niveles altos de Radón observados: 962 Bq/m³ – 11th Floor 333 Bq/m³ – 27th Floor				



Entrada de Radón - material de construcción

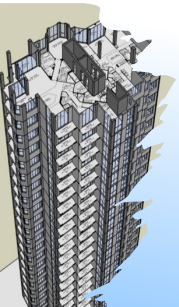
- Concentrationes de radon en un edificio sobre varios dias
- Affectadas por diferenciales de presion y la concentracion del gas en el suelo
- Diferenciales de presión, concentraciones de gases en el suelo, velocidad y dirección del viento, diferenciales de temperatura interior/exterior, precipitaciones recientes y el funcionamiento de equipos mecánicos, afectan las concentraciones de radón





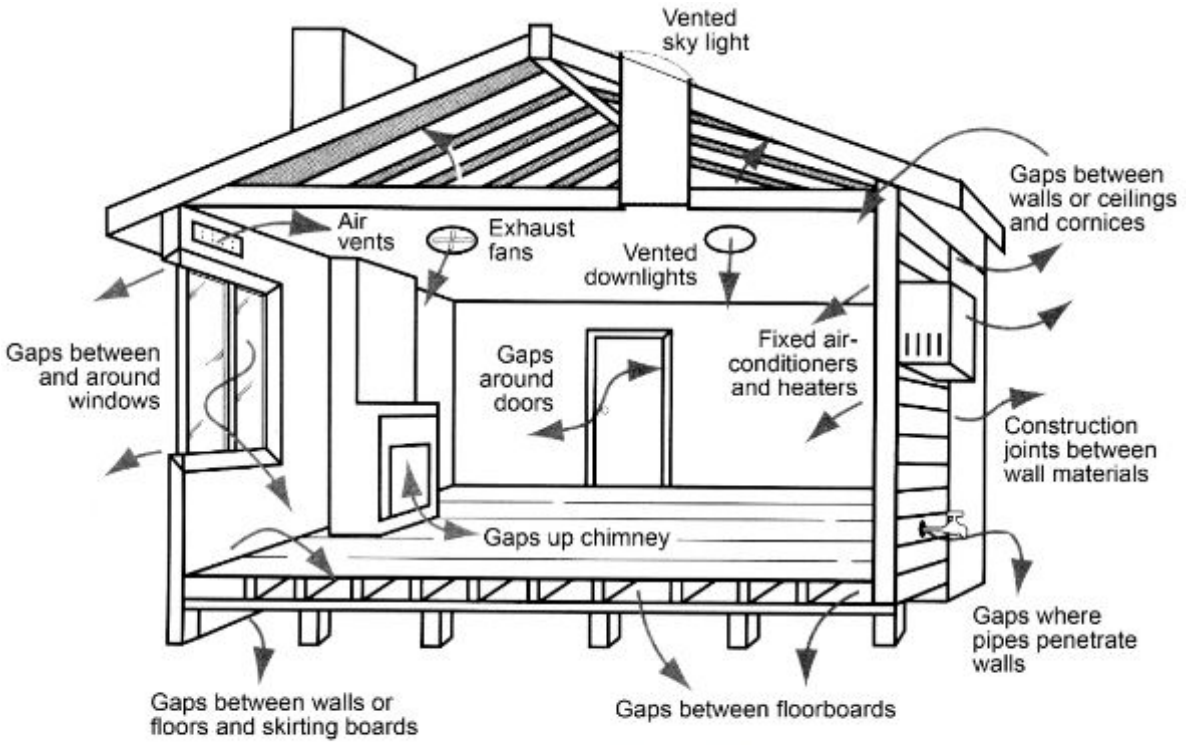
Entrada de Radón - material de construcción

- La intensidad de la fuente de radón es la variable primordial
- La entrada y el comportamiento del radón es un problema complejo con múltiples variables
- Las fuerzas que afectan las Tasas de ventilación también impulsan las Tasas de entrada de radón



Entrada de Radón - Tasas de ventilación

- Dependen de las diferencias de presión producidas
  - Equipo Mecánicos
  - Diferenciales de Temperatura (efecto chimenea)
  - Viento
- Concentración de radón afectada por el intercambio de aire interior con el aire exterior



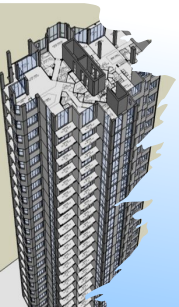
Common air leakage points

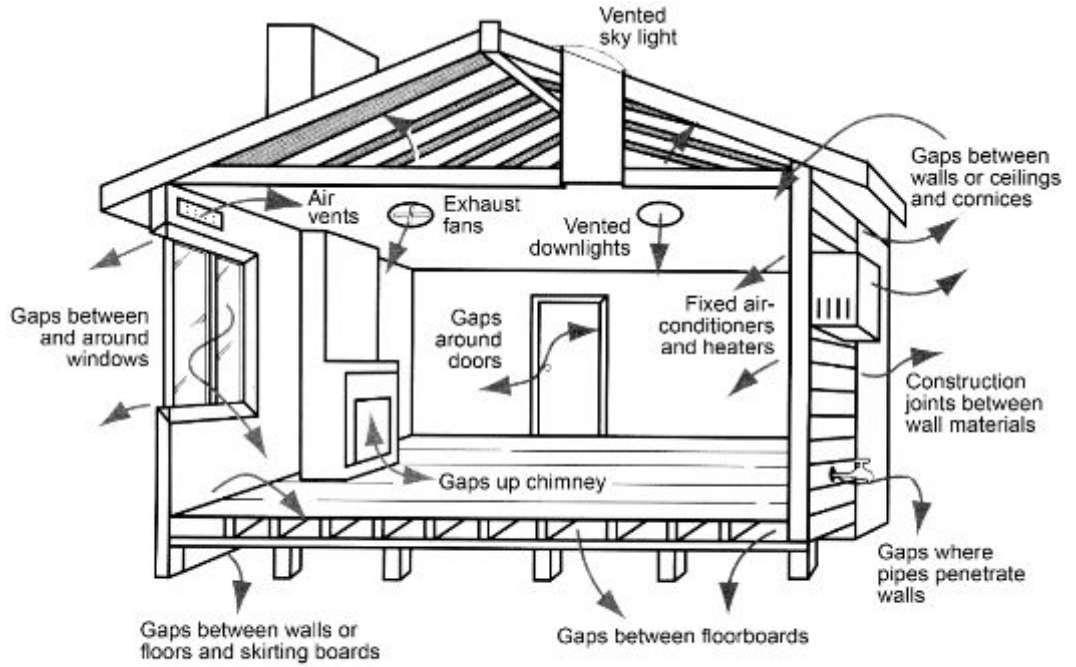
Source: Sustainable Energy Authority Victoria



Entrada de Radón - Tasas de ventilación

- Aire entra a las casas, estas liquean aire
- Casa de 30-40 años: Área efectiva de fuga (Effective leakage area - ELA) 1-2 ft^2
  - Tasa de infiltración promedia: 0.5-2.0 ACH
- Casas nuevas:
  - Tasa de infiltración promedia: 0.1 ACH de ventilación



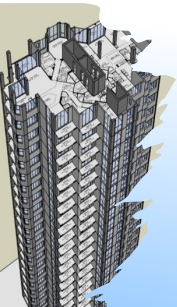


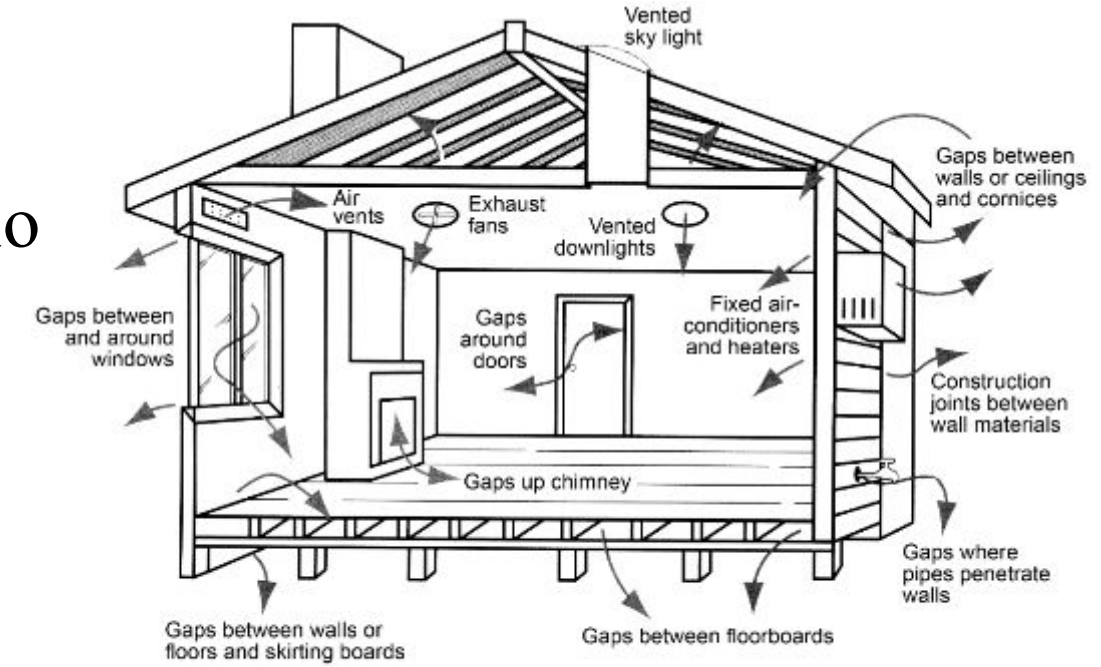
Common air leakage points

Source: Sustainable Energy Authority Victoria

Entrada de Radón - Tasas de ventilación

- Cuantos mayores sean las diferencias de presión, mayor será el flujo de aire en casas
- Contaminantes del aire, la fuerza de la fuente determina los niveles que se encuentran
  - Si no hay una fuente de radón, un edificio puede ser virtualmente hermético y no tener ningún problema
  - Si hay una fuente fuerte, incluso los edificios con más fugas pueden tener un problema de radón



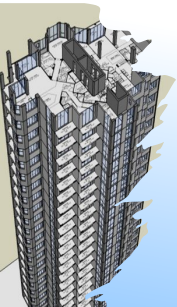


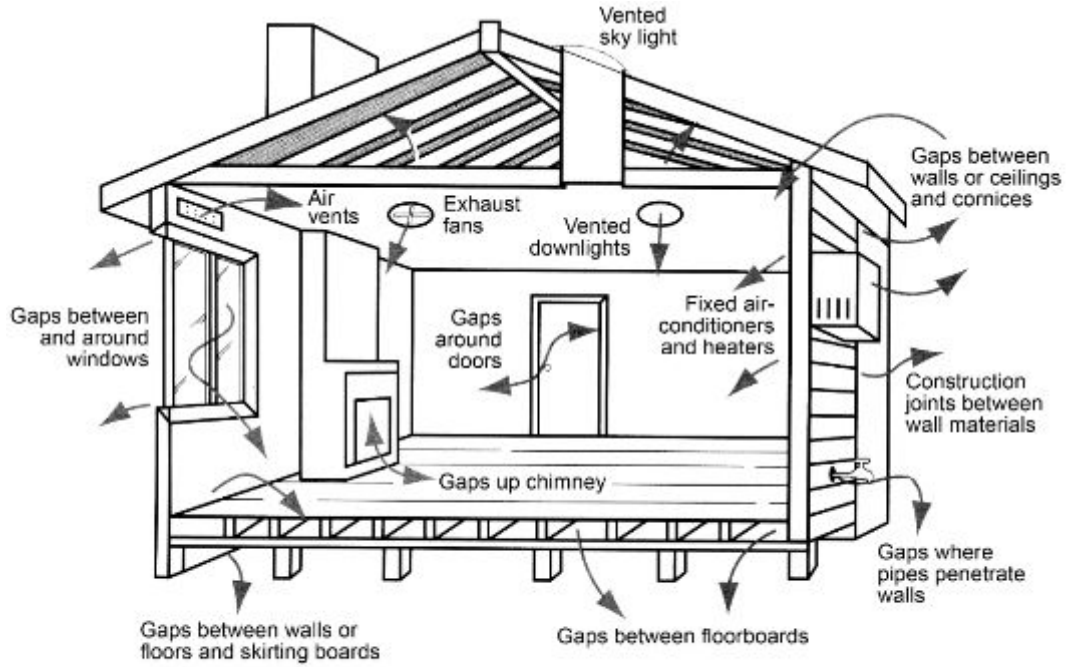
Common air leakage points

Source: Sustainable Energy Authority Victoria

Entrada de Radón - Tasas de ventilación

- La Tasa de ventilación por sí sola no puede predecir la concentración de radón
- La Tasa de entrada de radón es la variable dominante que determina la concentración de radón
  - La dilución afecta el nivel de radón
  - Fuerza de la fuente de radón (más importante)
  - Tasa de ventilación



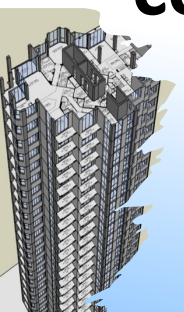


Common air leakage points

Source: Sustainable Energy Authority Victoria

Tasas de Ventilación y Concentración de Radón

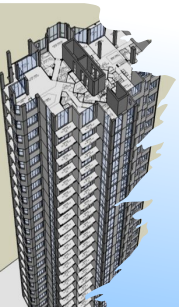
- La **intensidad de la fuente de radón** es la variable primordial
- La **Tasas de ventilación** depende de las **diferencias de presión** producidas por:
  - Equipo de intercambio de calefacción Mecánicos
  - Diferenciales de Temperatura (efecto chimenea)
  - Viento, etc
- **Concentraciónes de radón son afectada por el intercambio de aire con el exterior**



Pruebas de diagnóstico

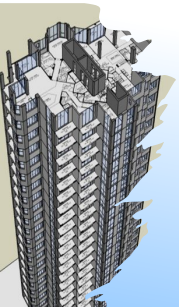
- Prueba de la Puerta Sopladora:
  - Mide **tasas de ventilación**
  - Mide el **área de fuga**
  - ¿La presurización es una opción?





Entrada de Radón – Estándares de Ventilación ASHRAE

- ASHRAE establecen estándares
- Cada persona necesita 5 cfm de ventilación
- Cada ft^2 necesita 0.06 cfm de ventilación
- Para una casa de 112 m^2 1,200 ft^2 con 3 ocupantes:
  - Intercambios por hora (ACH) de 0.43 si el cielo raso es de 10 ft ~ 3m
  - Intercambios/hr 0.54 si el cielo raso es de 8 ft ~ 2.5m



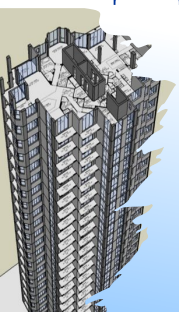
Entrada de Radón – Estándares de Ventilación ASHRAE

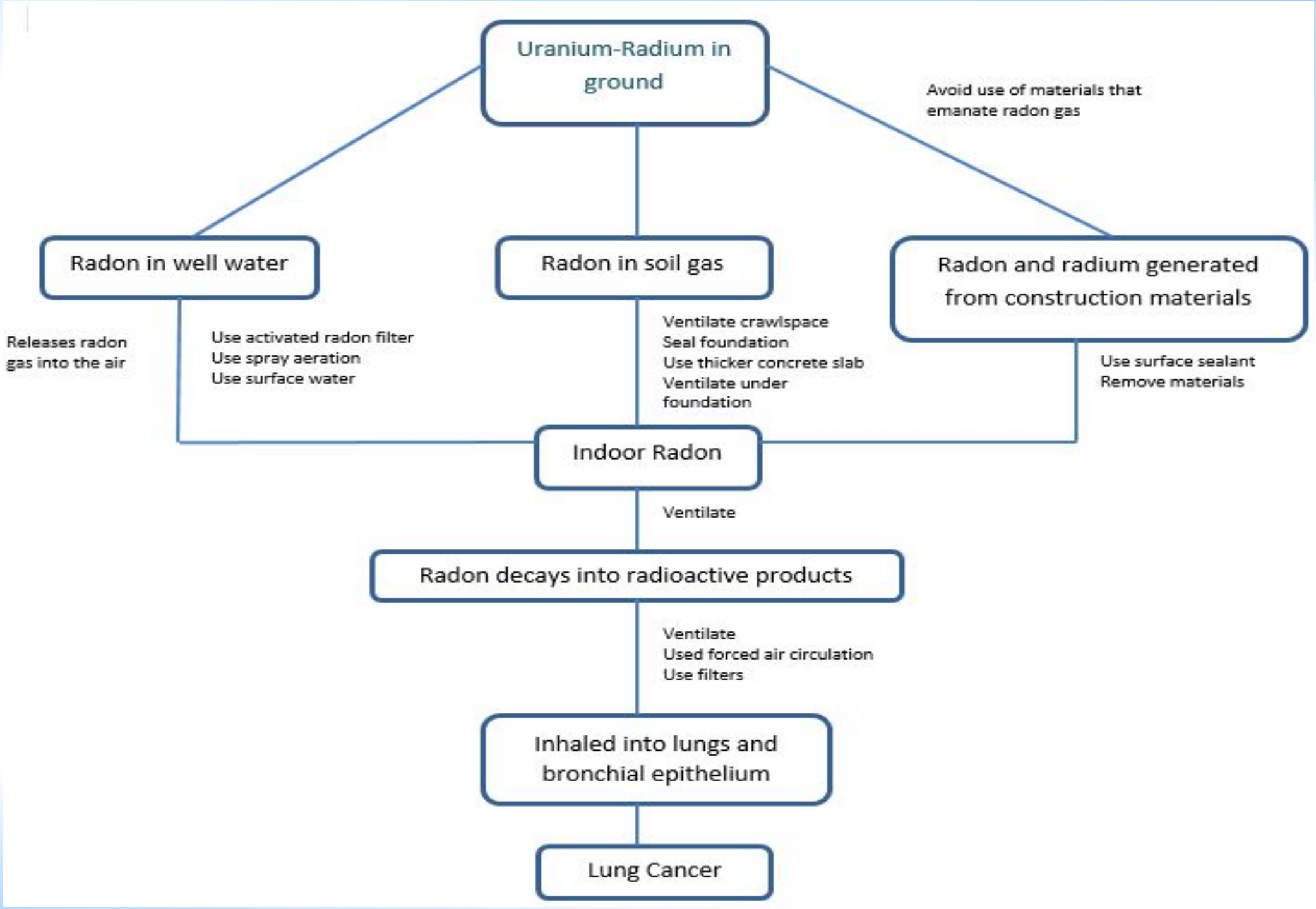
- **Generalmente la concentración de radón en un edificio está relacionada con la tasa de entrada y la tasa de salida del radón debido a la ventilación**

- **La Tasa de entrada de radón es la variable dominante que determina la concentración de radón** y depende de:
  - Concentración de la fuente de radón (más importante)
  - **Tasa de ventilación**
  - La dilución



Entrada y Medidas de Control de Radón





Características de los Descendientes de Vida Corta que Decaen del Radón

- Materiales radiactivos son específicos a los isótopos
- Los elementos pueden tener varios isótopos de interés
- El principal isótopo de interés a la salud publica - radón 222



Características de los Descendientes de Vida Corta que Decaen del Radón

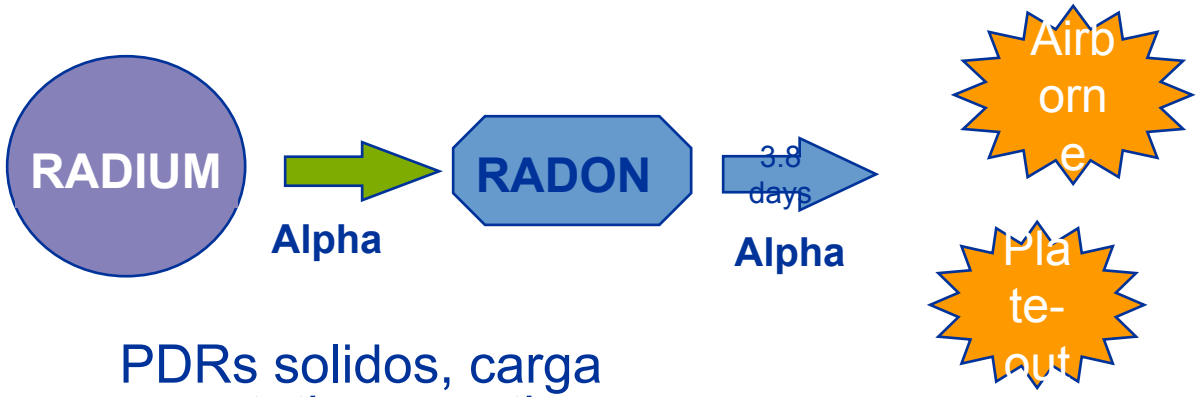
- Características de productos de desintegración del radón:
  - productos de vida corta;
  - químicamente reactivos;
  - se comportan como partículas que actúan como aerosoles invisibles en el aire;



Características de los Descendientes de Vida Corta que Decaen del Radón

- Características de productos de desintegración del radón:
  - tienen atracciones electrostáticas
  - De corta duración (menos de 30 minutos)
  - Afectan la salud;

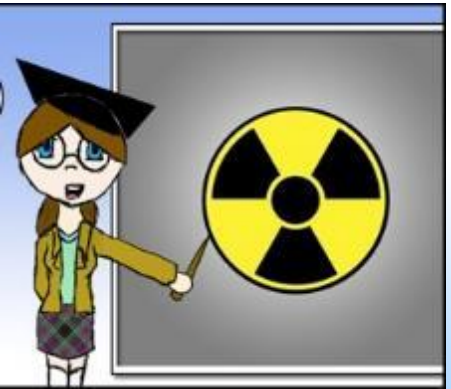


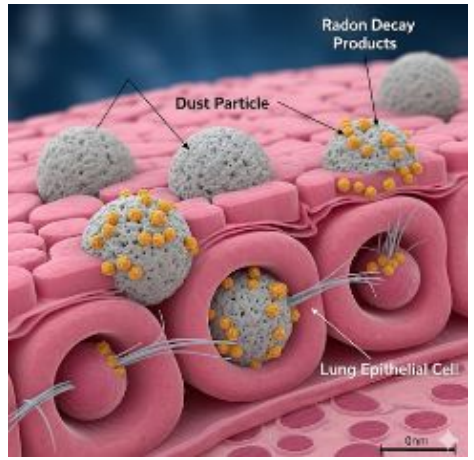


PDRs solidos, carga estatica, reactivos químicamente

Características de los Descendientes de Vida Corta que Decaen del Radón

- Atracciones electrostáticas
  - Pueden adherirse fácilmente a objetos sólidos (polvo, humo, paredes, ropa, etc)
  - Si se adhieren a las paredes o pisos, se "encapsulan“ (partículas ya no flotan y no pueden inhalarse)
  - Partículas pueden entrar a los pulmones (alveolos) y hacer daño por ~100 días





Características de los Descendientes de Vida Corta que Decaen del Radón

- Descendientes tienen atracciones electrostáticas
  - Aproximadamente el 50% de los productos de la desintegración del radón se encuentran en el aire y son respirables, y el otro 50% se encapsulan

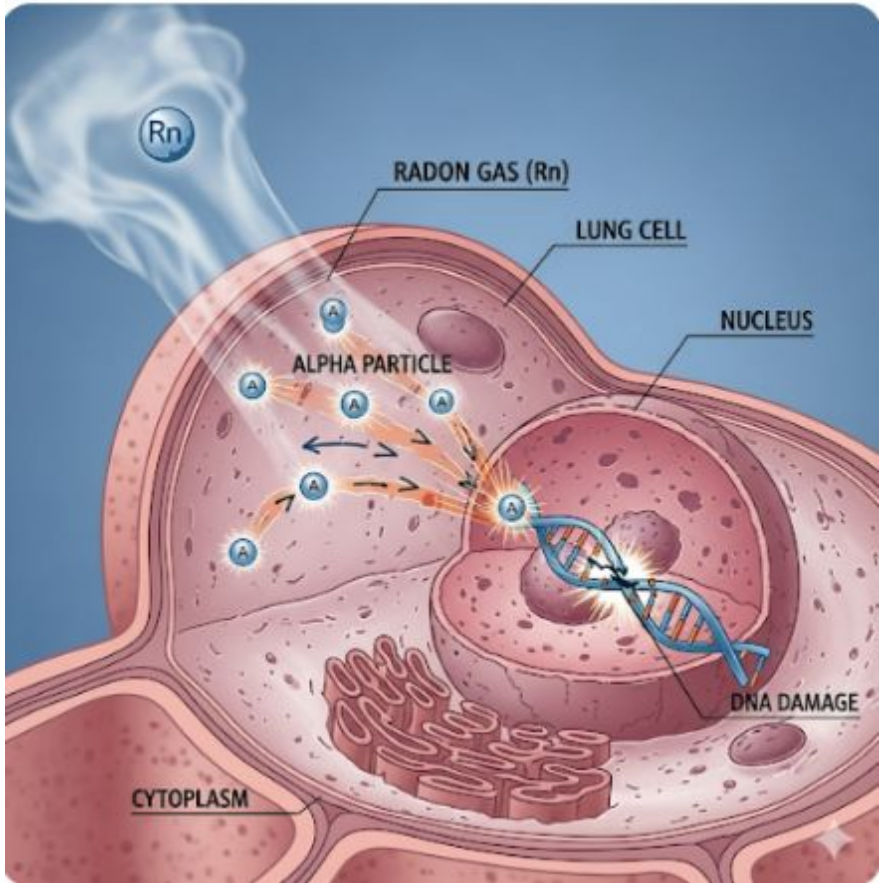


Características de los Descendientes de Vida Corta que Decaen del Radón

- Una vez que se inhala el radón, los descendientes de vida corta del radón quedan atrapados dentro de los pulmones

- Estos irradian las células de la membrana mucosa, los bronquios y otros tejidos pulmonares.
- Estos pueden dañar el ADN

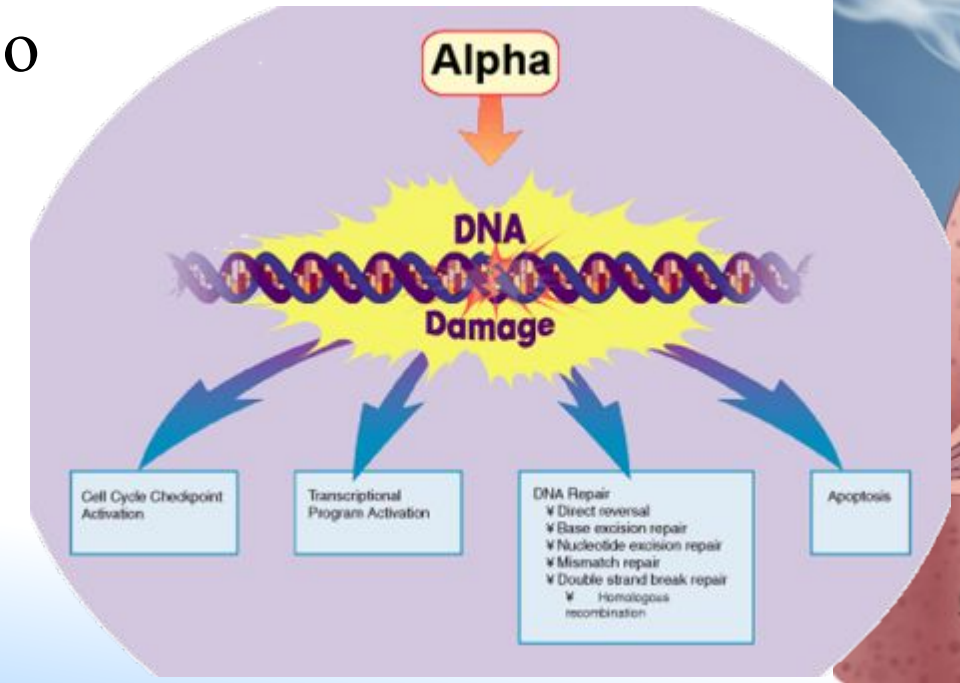


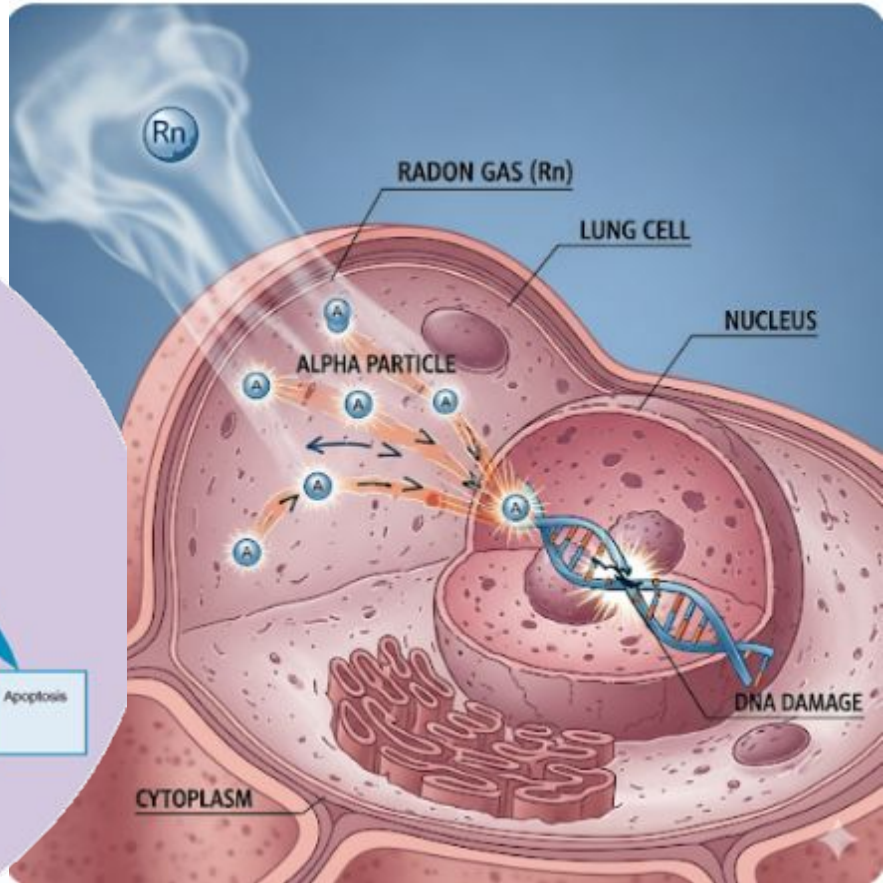


Características de los Descendientes de Vida Corta que Decaen del Radón

- Daños al ADN:
  - Es reparado
  - La célula muere
  - ADN incorrectamente reparado - crecimiento canceroso





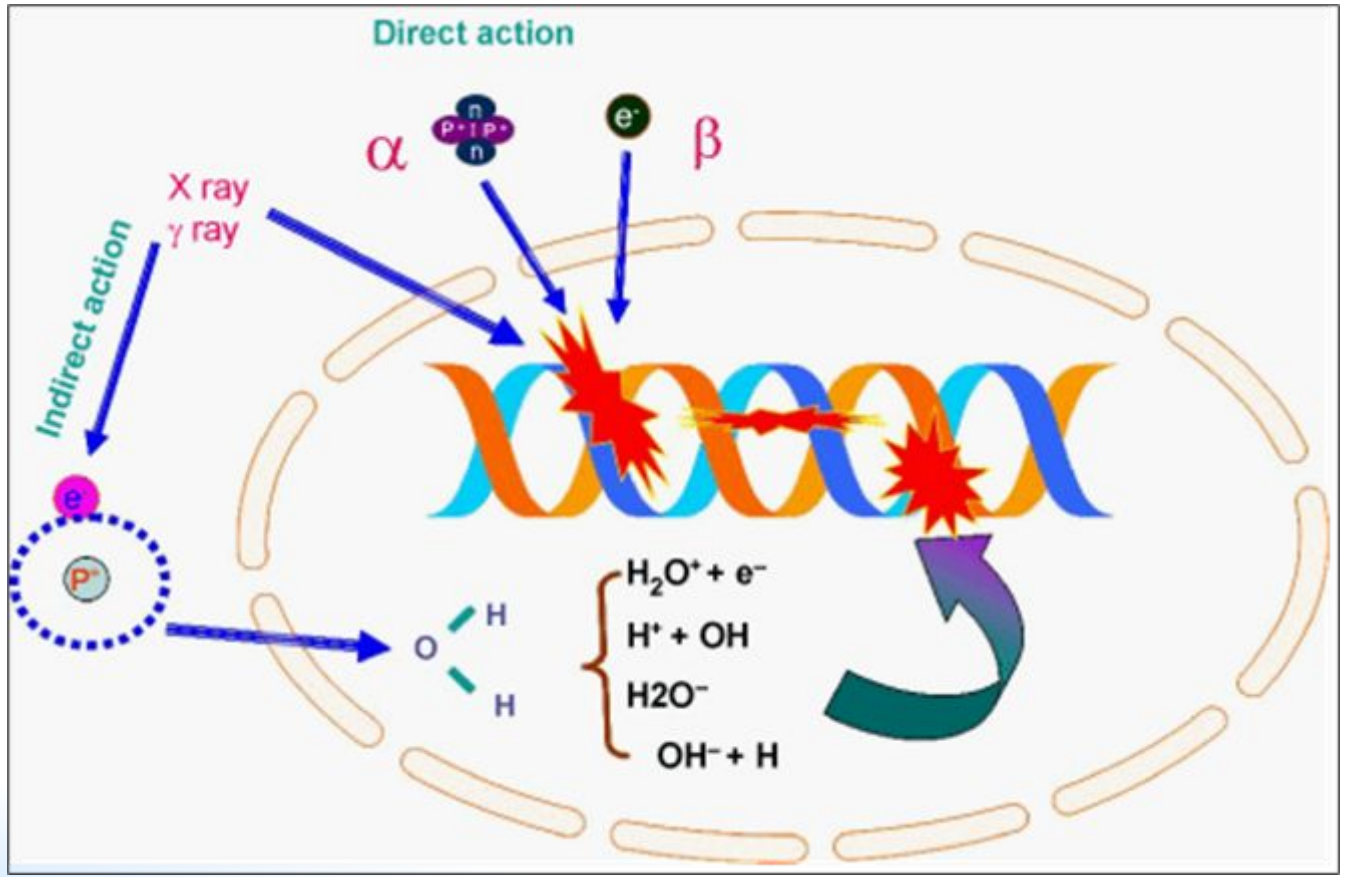


Características de los Descendientes de Vida Corta que Decaen del Radón

- Daños directos La radiación golpea el núcleo celular u otra estructura celular importante y puede causar la muerte celular o potencialmente inducir cáncer

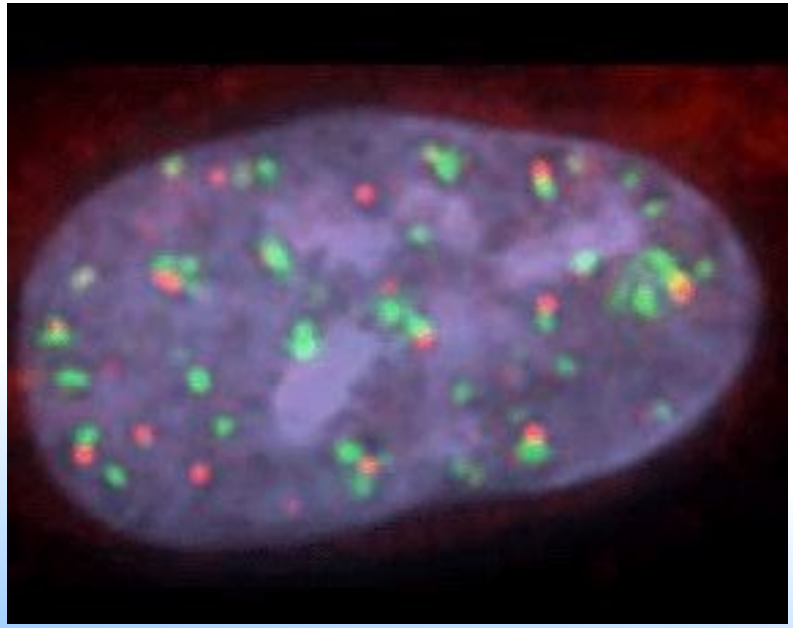
- Indirectos: la radiación deposita su energía en las moléculas de agua dentro de la célula, creando **radicales libres** como los **hidroxilos**





Características de los Descendientes de Vida Corta que Decaen del Radón

- Riesgo de cáncer de pulmón se basa en la exposición total al radón y PDRs durante toda la vida
- El **gen RAD51** proporciona instrucciones para producir una **proteína** que es esencial para la **reparación** del ADN dañado



- Esta imagen muestra sitios de rupturas de la doble cadena del ADN inducidas por la radiación y los sitios reales de reparación (Rad51 - las proteínas de reparación en rojo)
- Departamento de Energía de EEUU

Unidades de Medida

- Working Level (WL)
  - No mide el gas radón directamente, sino la energía que sus productos de desintegración pueden liberar
  - Mide la concentración de energía alfa potencial de las partículas radiactivas descendientes del radón en un volumen de aire
  - Estas Partículas son la causa principal del daño a los pulmones
  - Fuerza o la potencia de la radiación presente en ese momento

Unidades de Medida

- Working Level Month (WLM)
  - Mide la **exposición total** acumulada a lo largo del tiempo
  - Calcula multiplicando la concentración de la radiación (en WL) por la duración de la exposición (en meses laborales)
    - Un mes laboral estándar se define como **170 horas**
    - El WL es la dosis por hora, el WLM es la dosis total que recibes durante un período
  - Se usa para estimar el riesgo de salud a largo plazo, especialmente para trabajadores en minas u otros entornos con alta exposición al radón

Unidad de medida del Radón

- Radón se mide en in pico Curios por Litro de aire (pCi/L) o Bequerelios por metro cúbico
- Un picoCurie por Litro (pCi/L) es 2.22 trillones de desintegraciones por minuto (0.037 bq - bequerelios)
- Radón se mide con
  - Carbón activado
  - Detectores Alpha
  - Células de centelleo alfa
  - Monitores de radón continuo



Source: https://invenzionialfemminili.wordpress.com/2010/01/page/2/

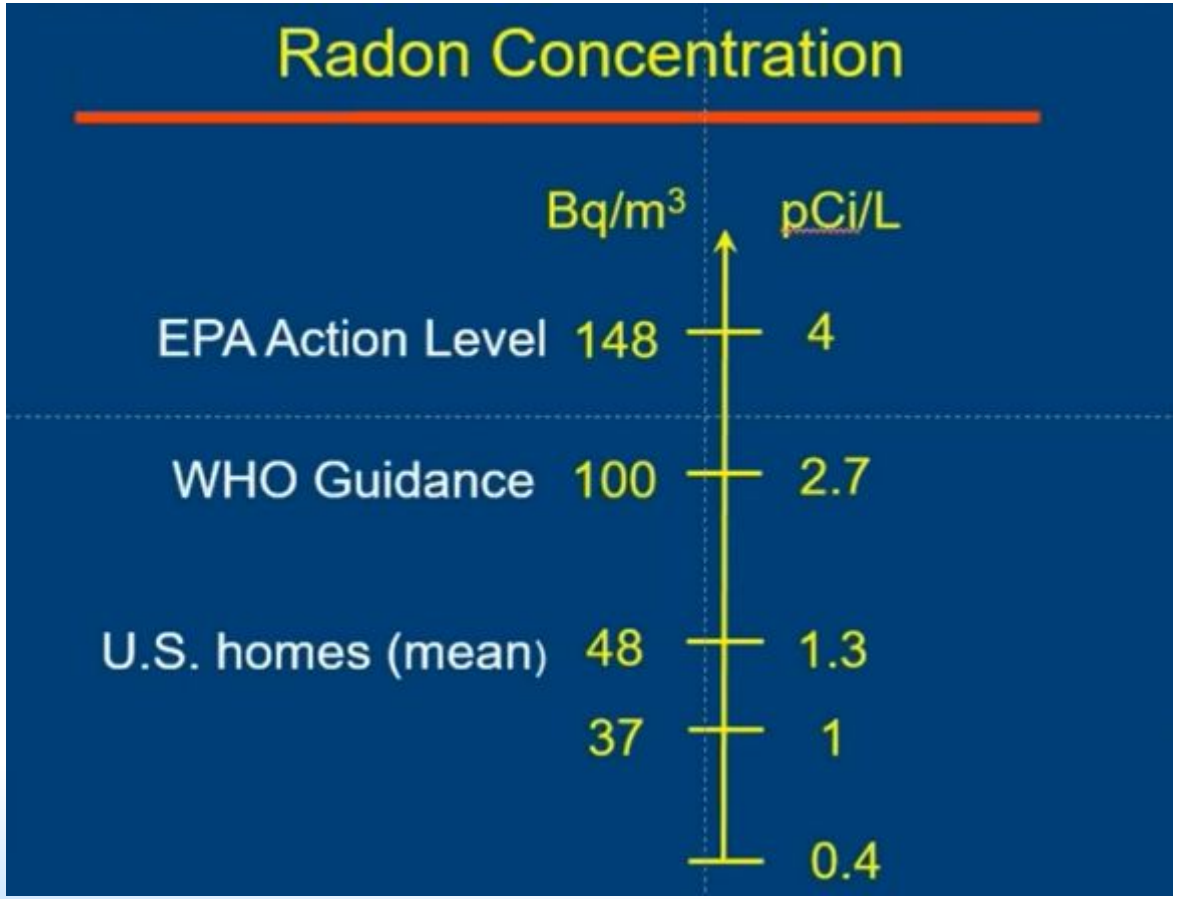
Nivel de Referencia

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos recomendó el nivel de acción o referencia para el radón: 4 pCi/L (148 Bq/m^3)



Objetivo - tener niveles de radón en interiores tan bajos como sea posible.

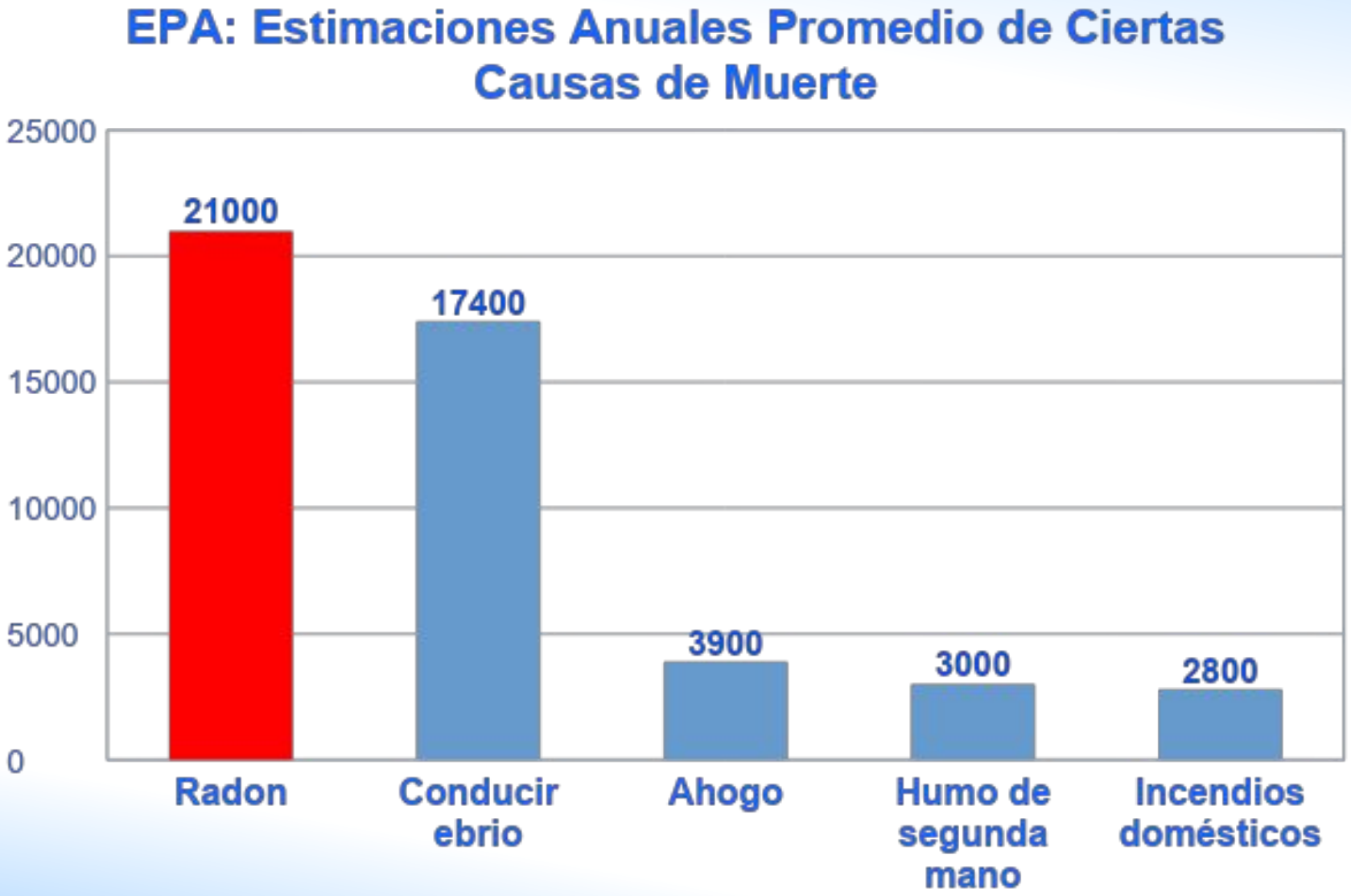
No es una guía basada en la salúd



- Riesgo para sustancias quimicas 1/10,000 o 1/100,000
- Riesgo del Rn a 148 Bq/m^3
  - 6/100 fumadores
  - 7/1,000 No-fumadores
- Para que se considere riesgo para la salud necesitamos estar en 14,8 Bq/m^3 (exterior)

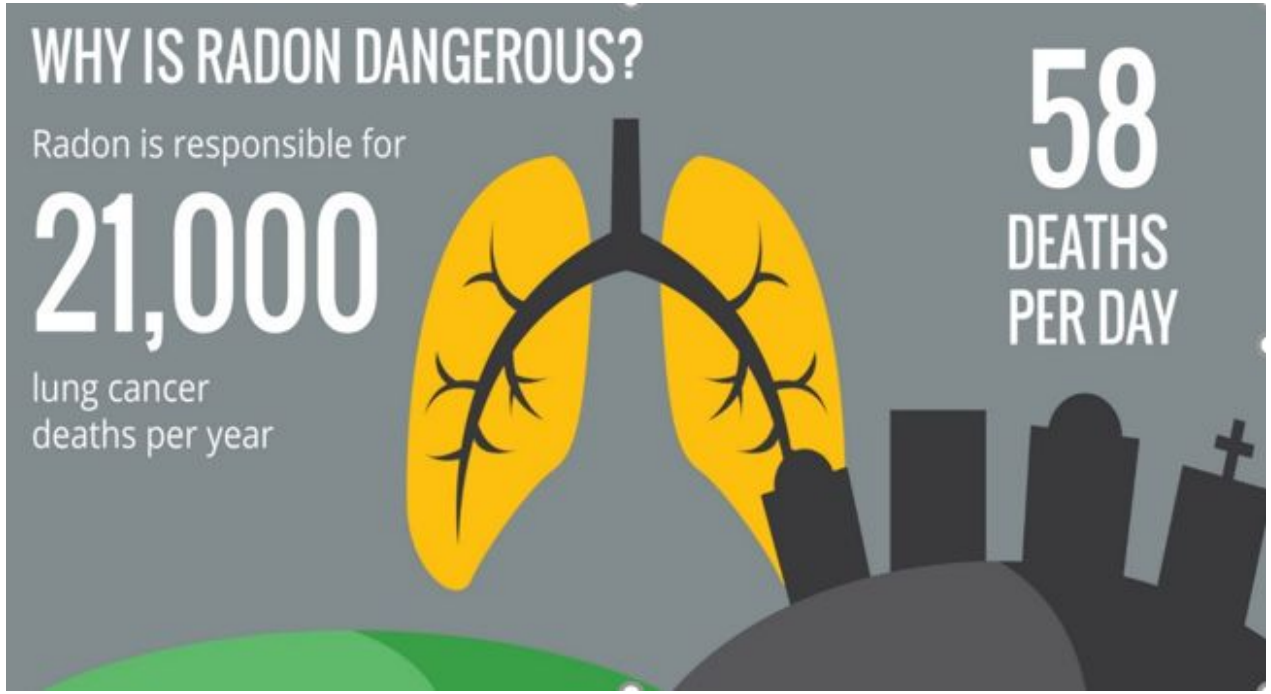
ALARA - Tan bajo como sea razonable

Muertes Evitables- EEUU



Muertes Evitables - Radón (Incertidumbre + 10,000 a 50,000 - EPA)

Causa principal de cáncer de pulmón en no fumadores (2,900 anual)



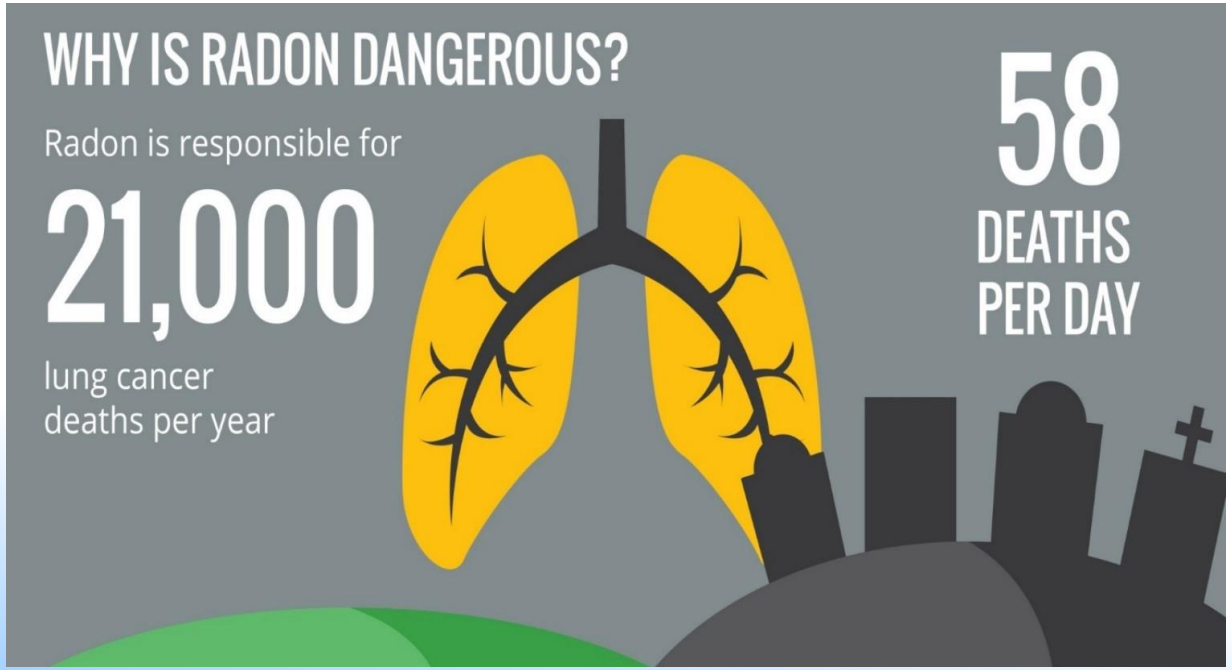
Sólido al Gas radón a Sólido

Pulmón promedio hay 3.2 millones de desintegraciones anuales a 100 Bq/m^3

No es una guía basada en la salud

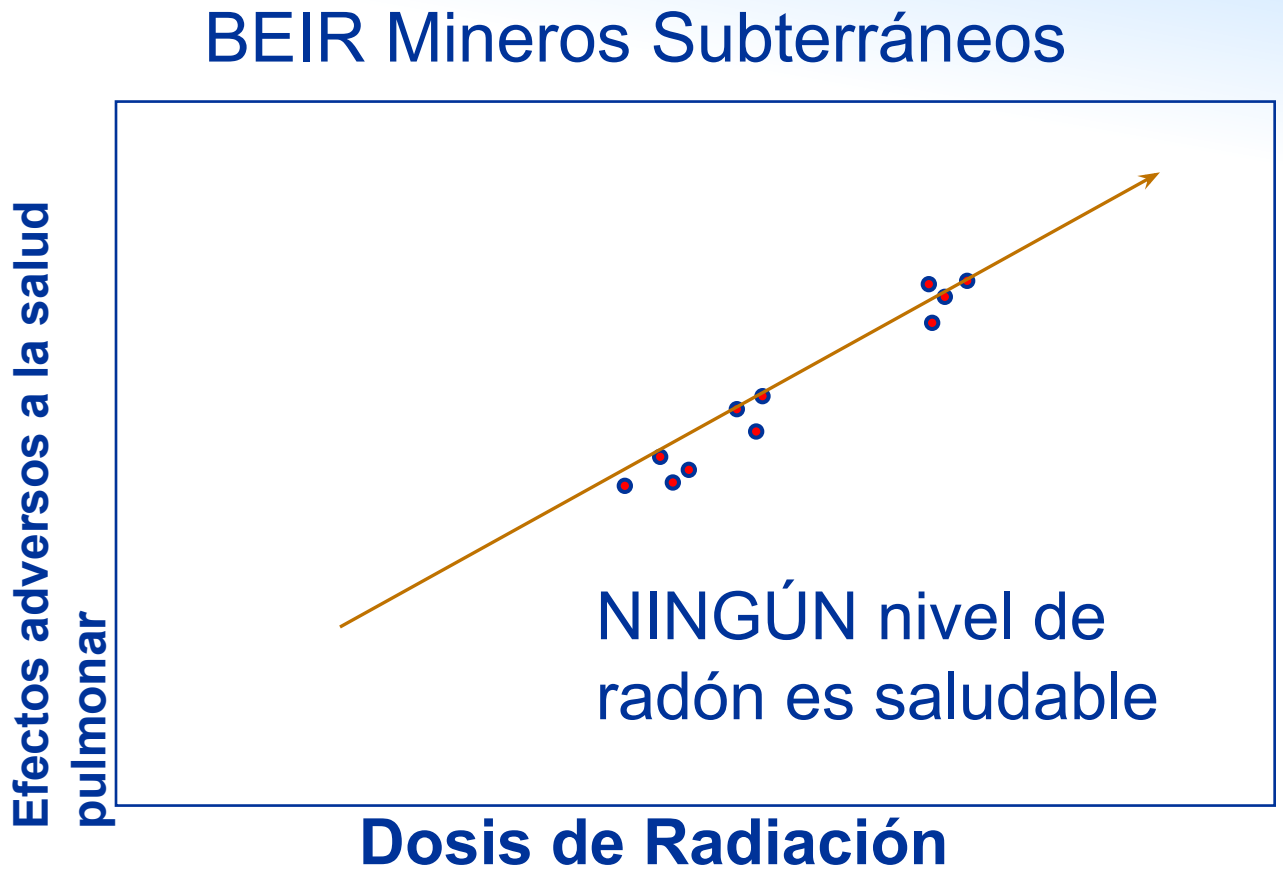
Volumen medio en un pulmón 2,6 litros

Hay más de 3.2 millones de desintegraciones de radón en sus pulmones por año, sin incluir las desintegraciones de los productos de vida corta



Productos de desintegración del radón pueden dañar el ADN y provocar mutaciones causantes de cáncer

Modelo de Respuesta a la Dosis



El **riesgo** de desarrollar cáncer de pulmón **aumenta linealmente** a medida que aumenta la **exposición**; duplicar la exposición duplica el riesgo, y reducir a la mitad la exposición reduce a la mitad el riesgo

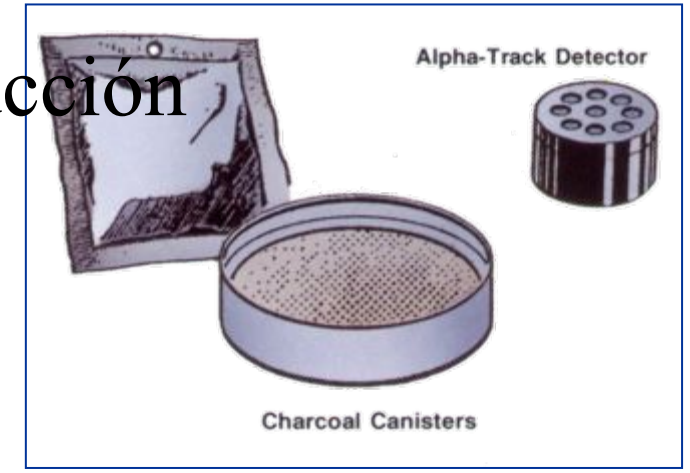
SourceBiological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) – Efectos biológicos de la radiación ionizante - 1990

Prevención - Pruebas y Mitigación

- La única forma de saber el nivel es haciendo una prueba de radón
  - Pruebas a corto plazo para la detección de riesgos potenciales para la salud (2-90 días)
  - Pruebas a largo plazo para una determinación más precisa del riesgo para la salud (3 meses o más)
- Mitigar si se encuentran niveles elevados - construcción resistente al radón



Source: http://www.radelec.com



Source: http://www.epa.gov/radon

Cáncer de Pulmón Inducido por Radón

- El riesgo de cáncer de pulmón se basa en la exposición total al radón a lo largo de la vida (riesgo basado en la probabilidad)
- Latencia del cáncer - 25-30 años



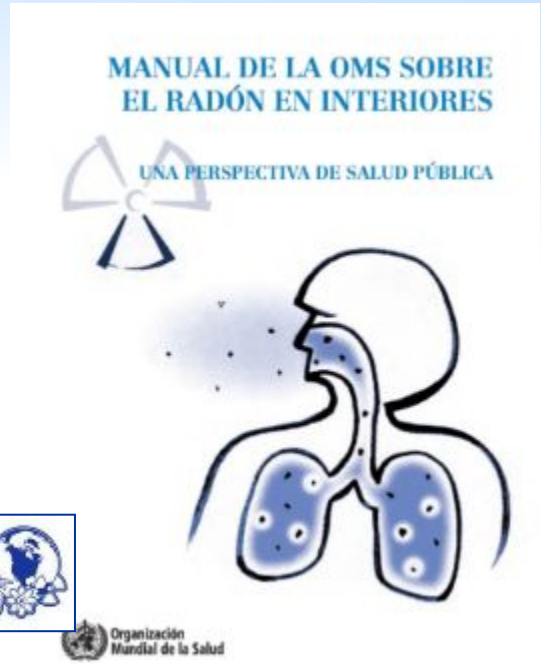
Cáncer de Pulmón Inducido por Radón

- La exposición a corto plazo a niveles elevados de radón no tiene el mismo riesgo que la exposición a largo plazo al radón



- Vivir un año a 150 Bq/m3 lleva un mayor riesgo que vivir una semana a 7,400 Bq/m3 (200 pCi/L)
- Descendientes causan Cancer
- Niveles elevados de radón pueden bajarse

Un problema de salud pública



UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

World Health Organization

AMA AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION

NCRP National Council on Radiation Protection & Measurements

HEALTH EFFECTS OF EXPOSURE TO LOW LEVELS OF IONIZING RADIATION BEIR V

AMERICAN LUNG ASSOCIATION.

U.S Department of Health & Human Services
Office of the Surgeon General

OIEA

Cancer causado por descendientes de radón ha sido bien establecido por la comunidad científica.
Nuestra acción es eminente.

Contacto

Jorge Laguna, Físico de Salud
Oficina de Control de Radiación de Florida
http://radon.floridahealth.gov
Jorge.Laguna@FlHealth.Gov
850-245-4397

Monitoreo del Radón

Agua, Suelo y Aire

Jorge Laguna, Jorge.Laguna@flhealth.gov
Administrador Ambiental
Oficina de Control de Radiación de Florida
Estados Unidos

Objectivo

- Protocolos del Monitoreo
- Monitoreo en el suelo
- Monitoreo en el agua
- Monitoreo en el aire de las viviendas
- Introducción a dispositivos de medición

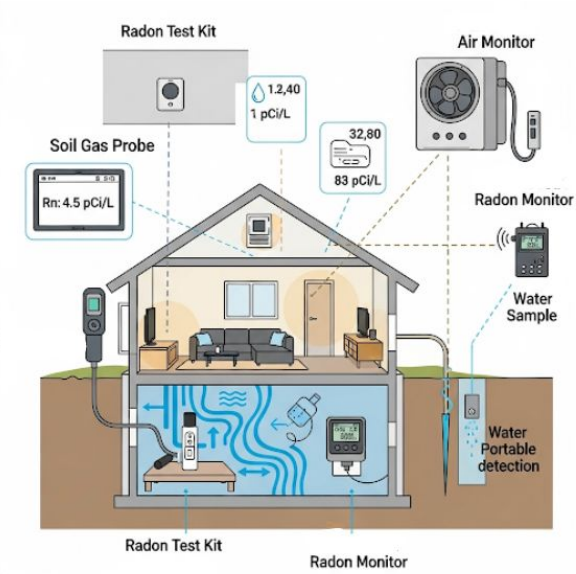
Monitoreo del Radón

- Proceso de observación constante de una variable o un conjunto de variables a lo largo del tiempo
- Objetivo es detectar cambios, tendencias, anomalías en un sistema para tomar acciones correctivas o preventivas
- Proceso clave para evaluar riesgos de salud pública, ya que este gas puede infiltrarse en edificios y acumularse a niveles peligrosos.

Monitoreo del Radón

Las técnicas de monitoreo varían según el medio: aire, agua o suelo:

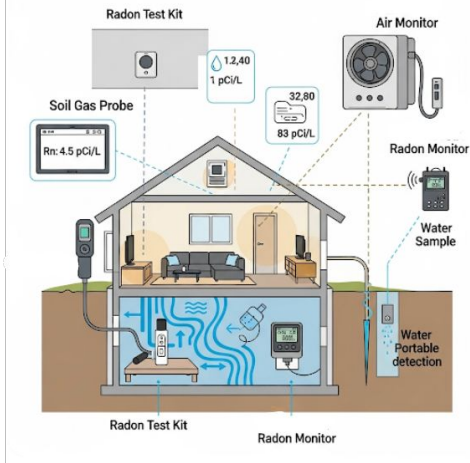
- **Monitoreo en el suelo** se utiliza para evaluar el potencial de riesgo del area antes de la construcción. El gas del suelo fuente principal de Rn que se filtra
  - Costoso
  - Resultados inciertos
- Monitoreo del radón en agua
- **Monitoreo del radón en aire**



Monitoreo del Radón

Las técnicas de monitoreo varían según el medio: aire, agua o suelo:

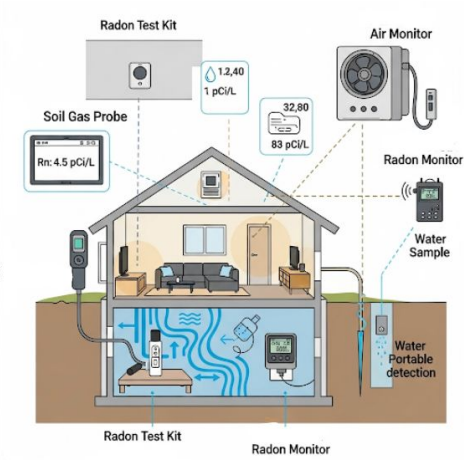
- **Monitoreo del radón en agua:** puede disolverse en el agua subterránea y liberarse en aire interior durante uso del agua (ducharse, lavar ropa, platos). Medición principalmente en **suministros** de **agua de pozo**, ya que los suministros públicos suelen tener niveles más bajos
- Monitoreo del radón en aire
- Monitoreo en suelo

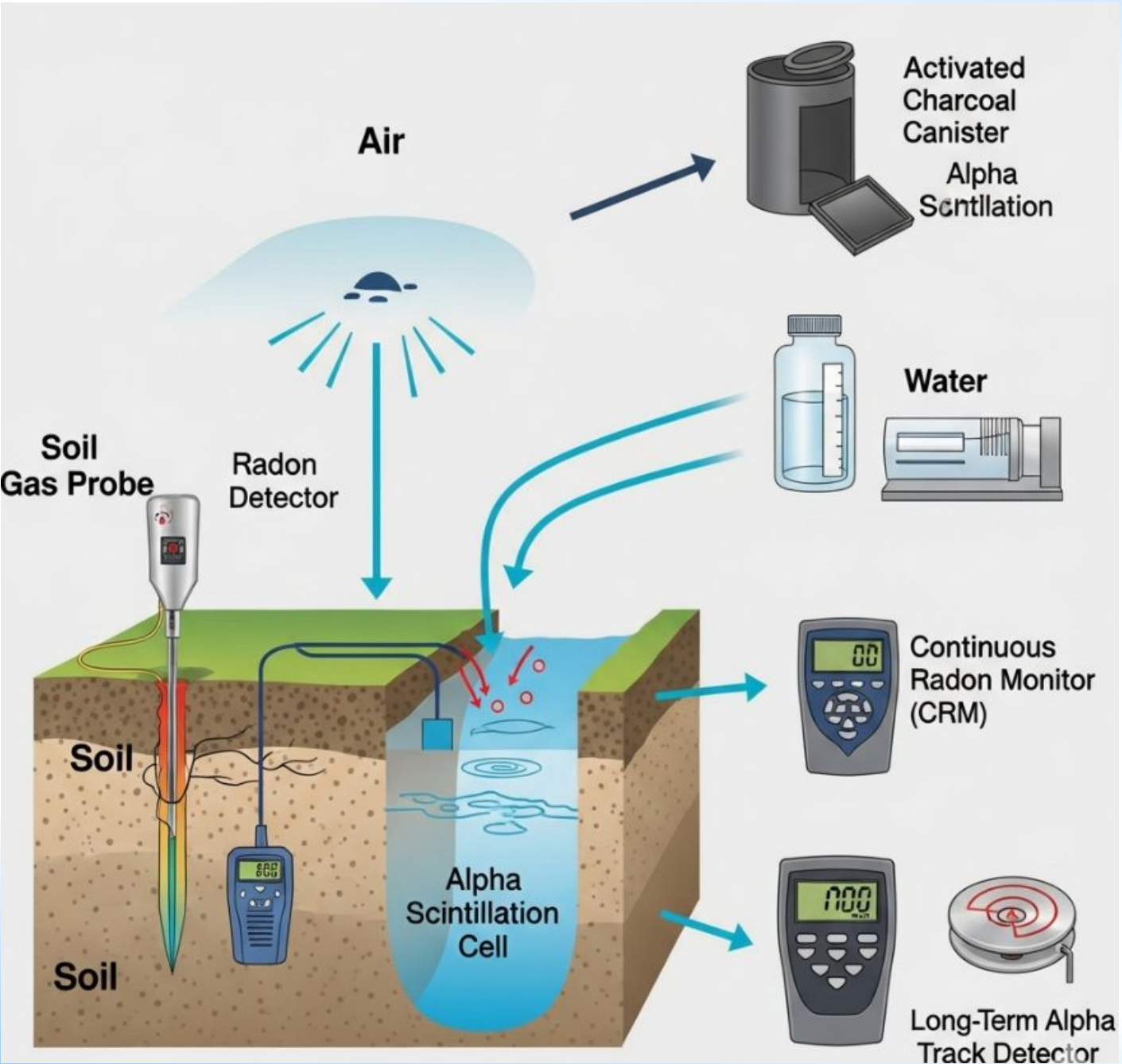


Monitoreo del Radón

Las técnicas de monitoreo varían según el medio: aire, agua o suelo:

- **Monitoreo del radón en el aire** interior se enfoca en niveles de radón en edificios, la principal fuente de exposición a las personas
- Monitoreo del radón en agua
- Monitoreo en suelo

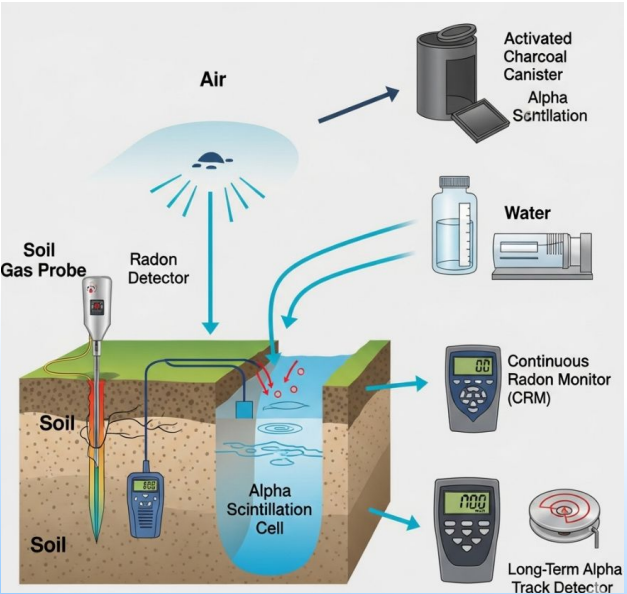




Protocolos de Mediciones de Radón

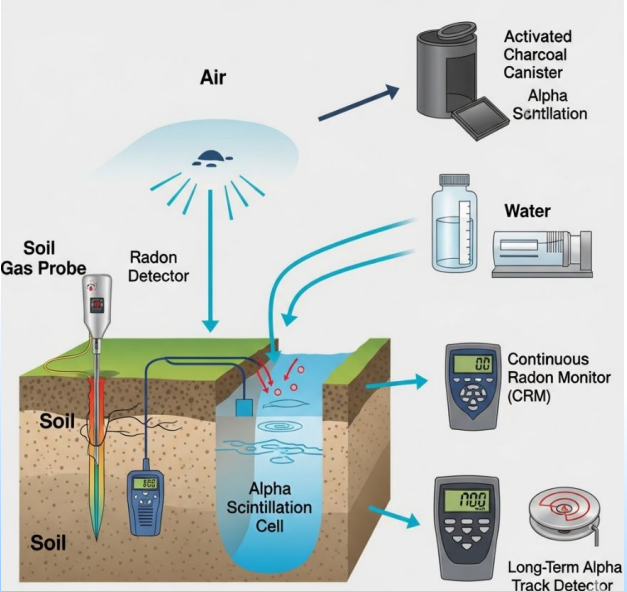
Protocolos de Mediciones de Radón

- Pruebas de detección (corto/largo plazo - Protocolos de EPA)
- Pruebas de seguimiento [EPA]
- Pruebas anterior y posterior a mitigación (no hay protocolo)
- Pruebas diagnósticas (no hay protocolo)



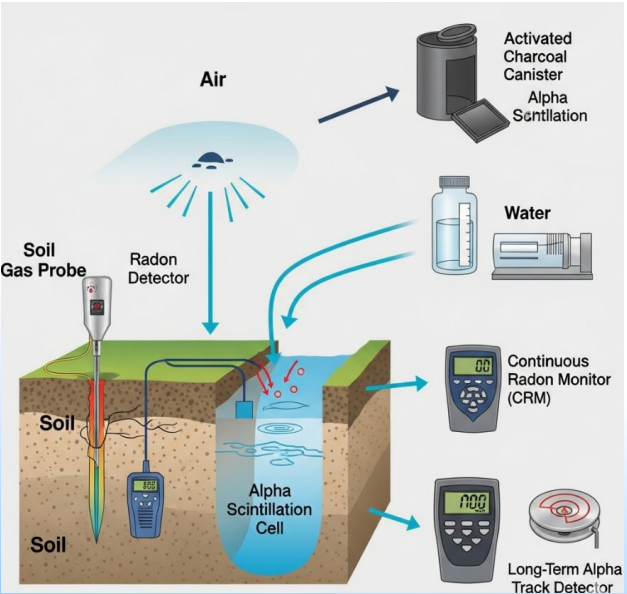
Protocolos de Mediciones de Radón

- Prueba a corto plazo pare evaluar si hay riesgo inmediato
- Identifique casas con niveles elevados de radón
- Permite tomar medidas adicionales rápidamente
- Rápido y económico



Protocolos de Mediciones de Radón

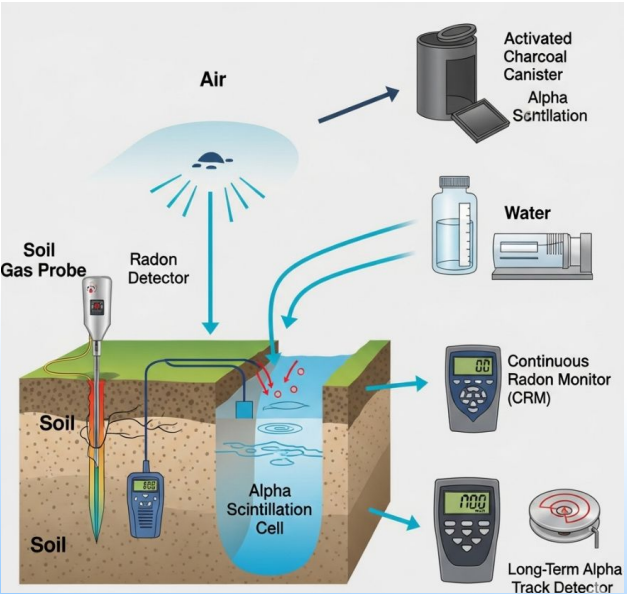
- Pruebe el área habitable más cercana al suelo
- El instrumento no debe ser perturbado
- Condiciones de casa cerrada
- Especialmente importante en verano e invierno



Protocolos de Mediciones de Radón

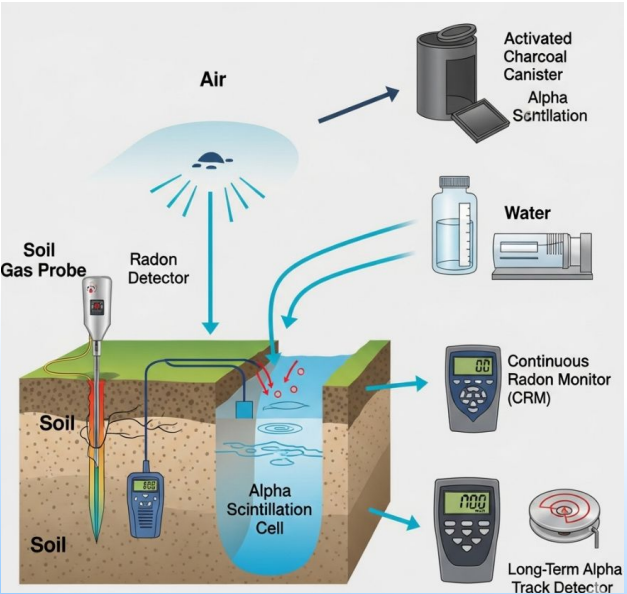
Estrategias de control de manipulación

- El propietario debe firmar un acuerdo de no interferencia
- Letrero: "Prueba de radón en curso"
- Indicadores de ubicación



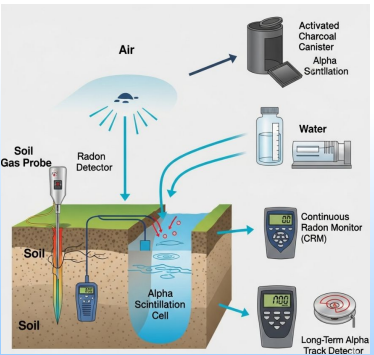
Protocolos de Mediciones de Radón

- Mantener el edificio cerrado
- Ver si hay movimiento del detector
  - interferencia con el detector pueden ser causa de invalidación
- Estado de las etiquetas o sellos de seguridad



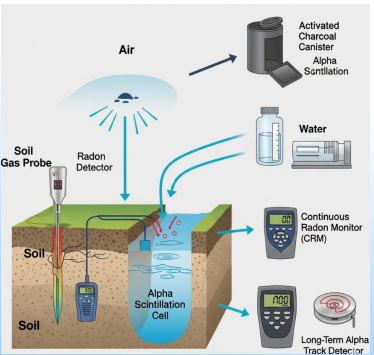
Protocolos de Mediciones de Radón

- Mantenga la casa cerrada
  - Todas las puertas y ventanas deben estar cerradas durante 12 horas antes y durante la medición
  - No deben funcionar ventiladores de ático ni de ventana
  - Se puede usar aire acondicionado que recicle el aire interior



Protocolos de Mediciones de Radón

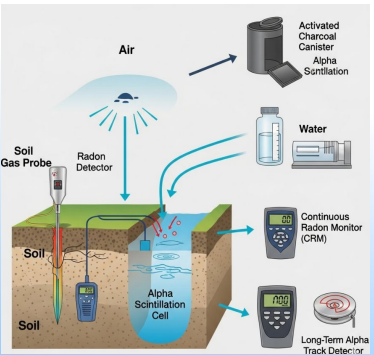
- Acción recomendada según los resultados de la evaluación
- Prueba de seguimiento inmediata
  - Niveles > 1 WL o 7400 Bq/m3
- Seguimiento dentro de varios meses
  - Niveles 0.1 - 1 WL or 740-7400 Bq/m3



- Considere seguimiento durante los próximos 12 meses
  - Niveles 0.02 - 0.1 WL or 150-740 Bq/m3
- Seguimiento por decisión del propietario
  - Niveles < 0.02WL or 150-740 Bq/m3

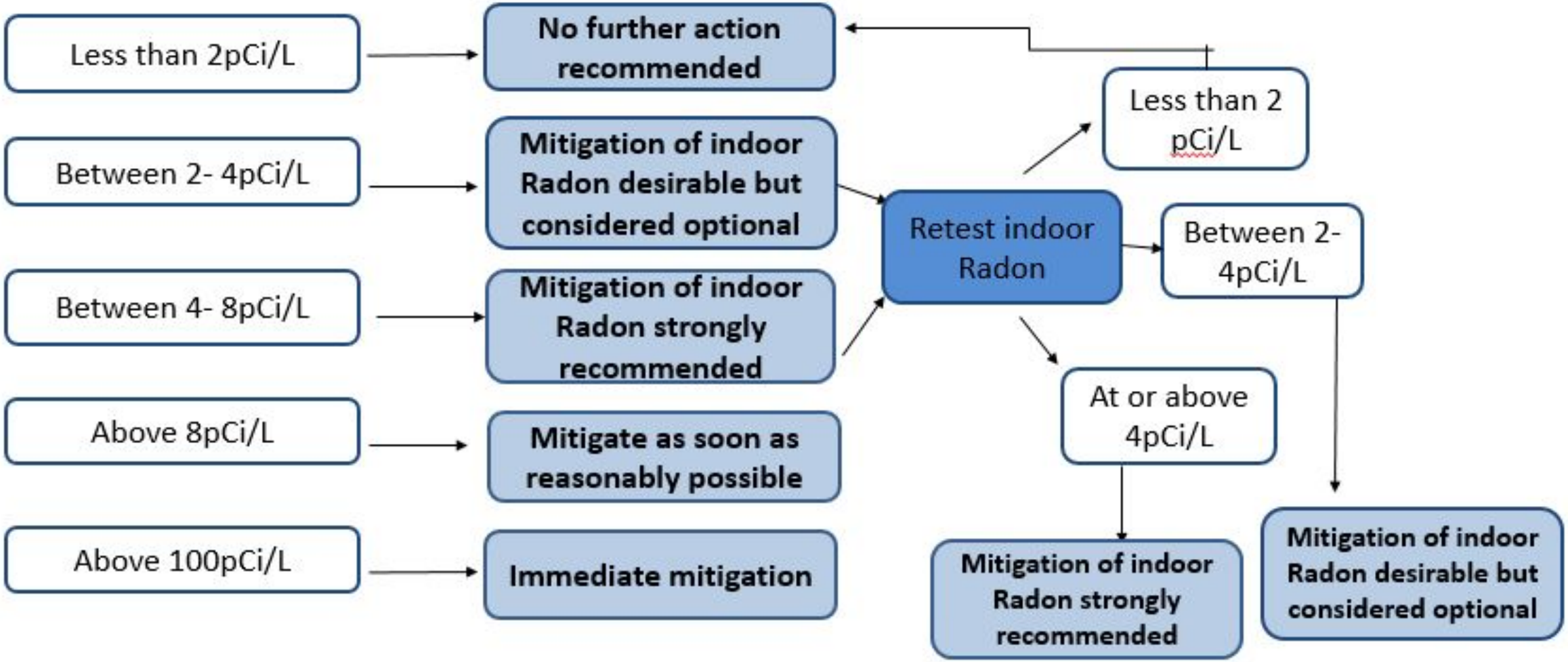
Protocolos de Mediciones de Radón

- ¿Por qué realizar mediciones de seguimiento?
  - Proporciona información adicional para decidir si se debe mitigar
  - La segunda prueba a corto plazo se puede promediar con la primera para obtener un resultado más representativo
  - Prueba de seguimiento a largo plazo proporciona un valor aún más representativo de la concentración promedio de radón
  - Sirven para comprobar si hubo errores en la prueba inicial



Protocolos de Mediciones de Radón

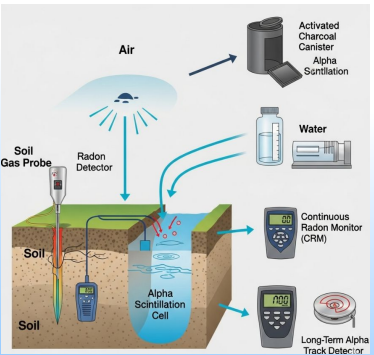
Pruebas de radón en bienes y raíces



Protocolos de Mediciones de Radón

Medidas previas y posteriores a la mitigación

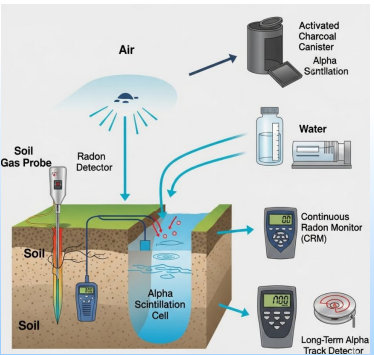
- Medidas de diagnóstico
  - Diseñado para ayudar en la selección de una técnica de mitigación adecuada
  - Se toman en lugares de origen sospechosos
  - Are interpreted as relative indicators
  - Actualmente no existen protocolos



Protocolos de Mediciones de Radón

Medidas previas y posteriores a la mitigación

- Para determinar si la mitigación tuvo éxito
- Deben medirse en el mismo lugar
- Debe tomarse en condiciones ambientales similares
- Debe tomarse con el mismo estado de ocupación



Programas de competencia

EPA estableció el **programa de Competencia** en la Medición de Radón (RMP, 1986) para ayudar al público a identificar organizaciones capaces de proporcionar servicios confiables de medición de radón. En 1998, se suspendió el programa de competencia en radón de la EPA y se iniciaron nuevos programas que ofrecen los mismos servicios. Se distingue entre los proveedores de servicios de radón que realizan **análisis** de los **dispositivos** de prueba ellos mismos y los que confían el análisis a terceros. Se requieren diferentes estándares de registro y demostración de competencia para cada tipo de proveedor

- EPA estableció el programa de Competencia en la Medición de Radón (RMP, 1986)
- Certificación por terceros para profesionales en radón
- RMP reemplazado por otras organizaciones (NRPP, NRSB)

Monitoreo del Radón en el Suelo



Monitoreo del Radón en el Suelo

- Principal fuente de radón que puede infiltrarse en los edificios a través de **grietas y aberturas** en los cimientos
- Para evaluar el **potencial de riesgo** de una parcela de tierra antes de la construcción o para estudios geológicos
- Mida la concentración de radón en el gas intersticial del suelo y la permeabilidad del suelo



Monitoreo del Radón en el Suelo - Métodos de Medición

- Muestreo de gas del suelo con un detector de radón continuo o cámara de ionización
- Análisis de muestras de suelo: para analizar el contenido de uranio y radio la capacidad de generar radón
- Permeabilidad para evaluar qué fácilmente puede fluir el Rn a través del suelo (suelo muy compacto puede retener más Rn, y uno más permeable facilita su ascenso)



Monitoreo del Radón en el Suelo - ¿Por Qué Monitorear?

- Evaluación del sitio previo a la construcción y determinar el riesgo potencial de radón en una parcela para decidir si se necesitan medidas de mitigación preventiva (**costoso**)
- Identificar **áreas geográficas** con alto **potencial** de radón
  - Investigación geológica de la **distribución de uranio y radio** y la dinámica del radón en el subsuelo
- Comprender la **fuente** del radón ayuda a diseñar sistemas de despresurización sub-losa



Monitoreo del Radón en el Suelo
¿Por Qué No se Recomienda?

- **No** refleja exposición real: Los niveles de radón en el suelo no correlacionan directamente con los niveles en el interior de un edificio
- **Factores internos**: La concentración de radón en el aire interior depende mucho del diseño del edificio, ventilación, presión diferencial y uso
- Tractores mueven la tierra y lo que se midió no indica lo que habrá ahora



Monitoreo del Radón en el Suelo
¿Por Qué No se Recomienda?

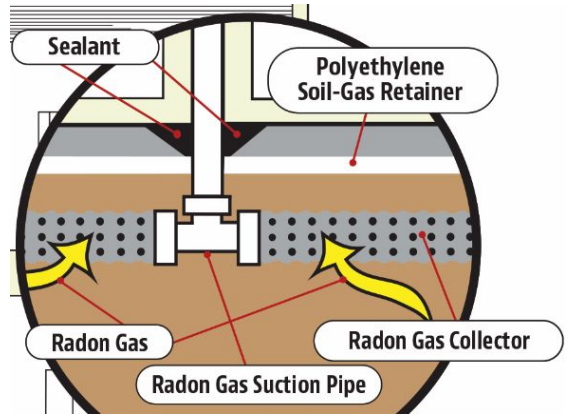
- Concentración de radón en el suelo varia mucho en distancias cortas, lo que dificulta representar valores interiores
- El monitoreo preciso del suelo es más complejo y costoso que el monitoreo del aire interior



Monitoreo del Radón en el Suelo
Solución: Construcción Resistente al Radón

- Evitar la entrada desde el momento de la construcción
- Elementos de técnicas de construcción resistente al radón:
  - Barrera de vapor de polietileno de alta **densidad** debajo de la losa Sellado de todas las aberturas y grietas en la losa y paredes
  - Tubería o arquetas de ventilación debajo de la losa hasta el techo para permitir que gases se ventilen de forma pasiva o activa
  - Una capa de grava debajo de la losa para facilitar el flujo

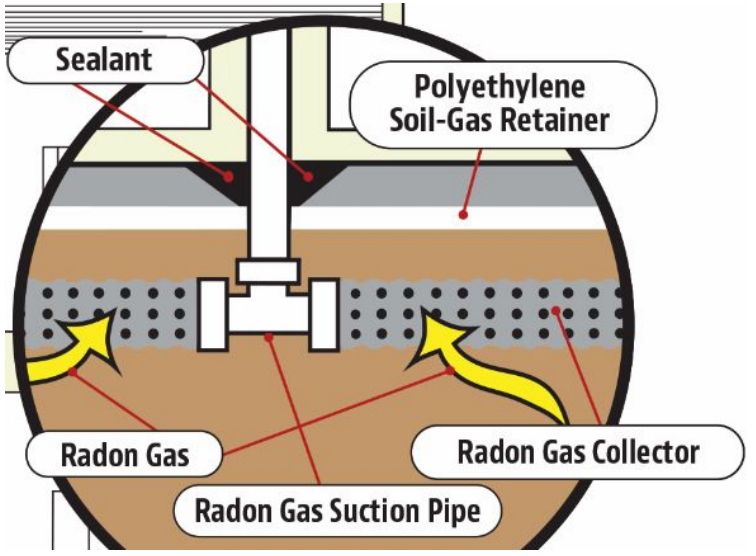




Monitoreo del Radón en el Suelo
Solución: Construcción Resistente al Radón

- En áreas con alto potencial de radón, se recomienda la construcción utilizando técnicas preventivas, incluso si los niveles de radón en el suelo no son altos
- Aunque implica una inversión inicial, es más económico y eficaz que instalar sistemas de mitigación después de que el edificio esté terminado

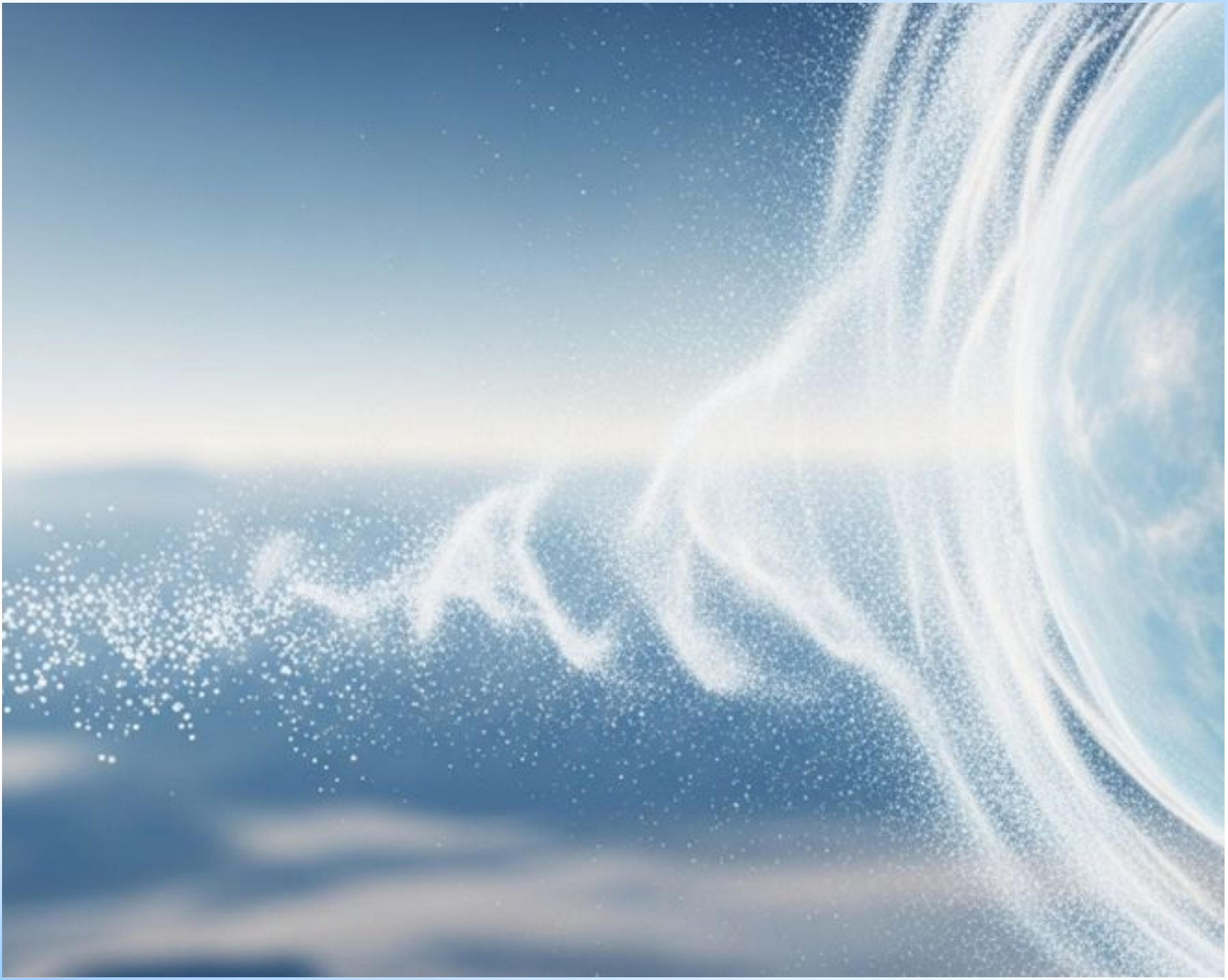




Monitoreo del Radón en el Suelo
Lo Mejor: Medir el Radón en el Aire Interior

- La medida más importante para conocer el riesgo para los ocupantes es medir la concentración de radón directamente en el aire
- Agencias de salud y reguladoras recomiendan la medición en edificios para tomar decisiones de mitigación
- El monitoreo del suelo es útil para planificación e investigación, pero la decisión de mitigar el radón debe basarse siempre en mediciones del aire interior

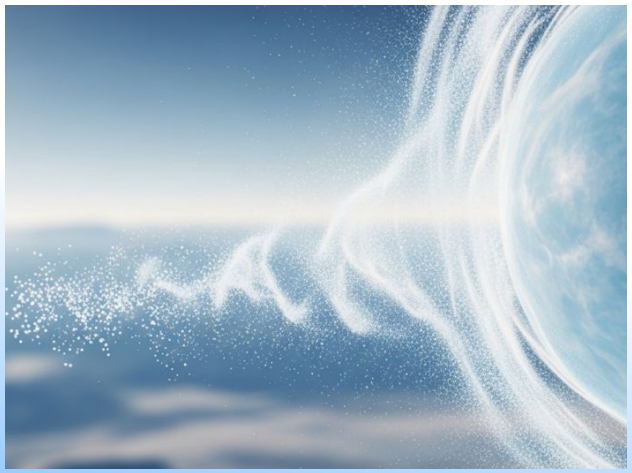




Monitoreo del Radón en el Aire

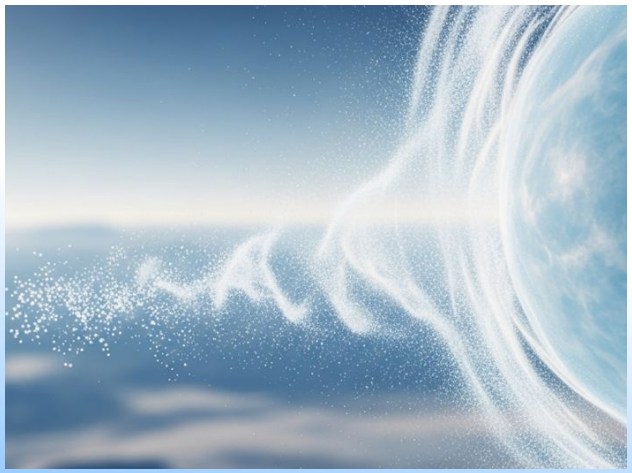
Monitoreo del Radón en el Aire

- Radón en el aire interior - principal fuente de exposición
- Aire - se mide la concentración del gas donde se inhala, proporciona información sobre el riesgo a la salud
- Agencias de salud y seguridad a nivel global recomiendan la medición del radón en el aire para evaluar el riesgo en hogares o lugares de trabajo



Monitoreo del Radón en el Aire
Métodos de Medición en el Aire

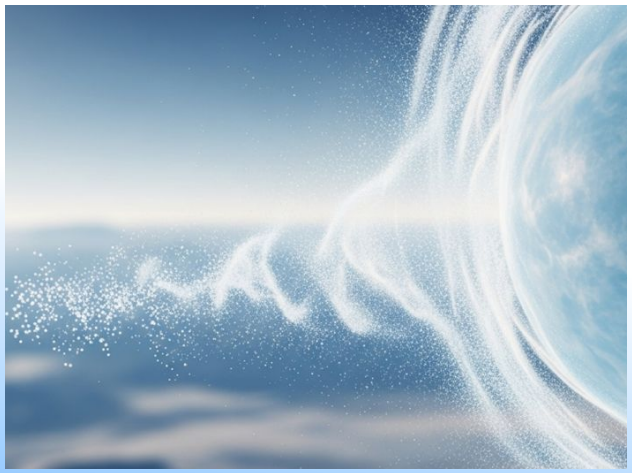
- Monitores a corto plazo: 2 - 90 días. Ideales para una evaluación rápida. Ejemplo, kits de carbón activado, que absorben el radón
- Monitores a largo plazo: > 90 días y son el método más fiable. Proporcionan un promedio estacional o anual de la concentración, suavizando las fluctuaciones diarias y estacionales. Ejemplo, detectores de trazas



- Monitores continuos: Dispositivos electrónicos que miden la concentración de radón en tiempo real. Permiten ver variaciones horarias del gas y son útiles para evaluar la efectividad de los sistemas de mitigación

Monitoreo del Radón en el Aire
Por Qué se Recomienda

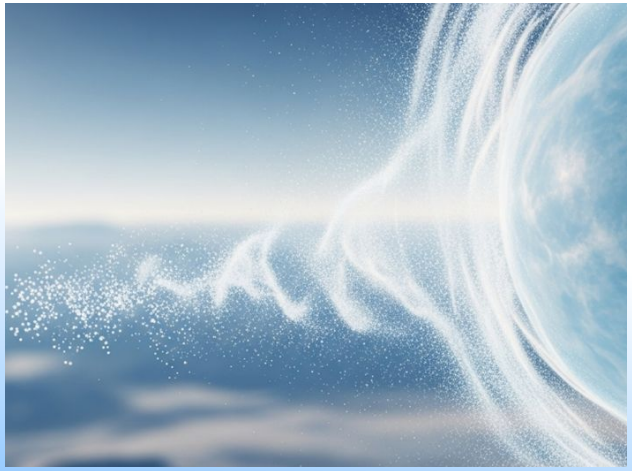
- **No importa** la concentración de radón en el **suelo**; lo que importa es lo que está en el aire que respiramos - refleja la exposición real
- Niveles en el interior dependen de la **fuente** del gas, pero también de la **presión diferencial** entre el suelo y el interior, **ventilación** del edificio y su sellado, factores que el monitoreo del suelo no puede capturar



- **Decisión de mitigación**: Las normativas de salud pública se basan en los niveles de radón en el aire interior para decidir si es necesaria la mitigación

Monitoreo del Radón en el Aire
Por Qué se Recomienda

- ¿Ha probado su casa?
- El monitoreo del radón en el aire es el método más recomendado porque mide la exposición real de las personas
- La Prioridad es la Salud



- Los kits son económicos y fáciles de usar y brindan a los propietarios información importante para proteger su salud y la de su familia

Consideraciones claves para cualquier método

- Hable con el propietario
- Identifique
  - Características constructivas útiles o limitantes
  - Posibles vías de entrada de gases
  - Estilo de uso del hogar
  - Plano de la planta





Consideraciones claves para cualquier método

- Colóquelo en una zona de respiración (a 90-120 cm del suelo)
- Colóquelo lejos del calor (luz solar, parte trasera del televisor)
- Colóquelo lejos de mascotas y niños pequeños - interferir
- Colóquelo lejos de fuentes de turbulencia
- Colóquelo lejos de obstrucciones
- Restringir acceso





Consideraciones claves para cualquier método

- Métodos más comunes
  - Mediciones a corto plazo
  - Mediciones de seguimiento
  - Mediciones de diagnóstico
  - Mediciones previas y posteriores a la mitigación



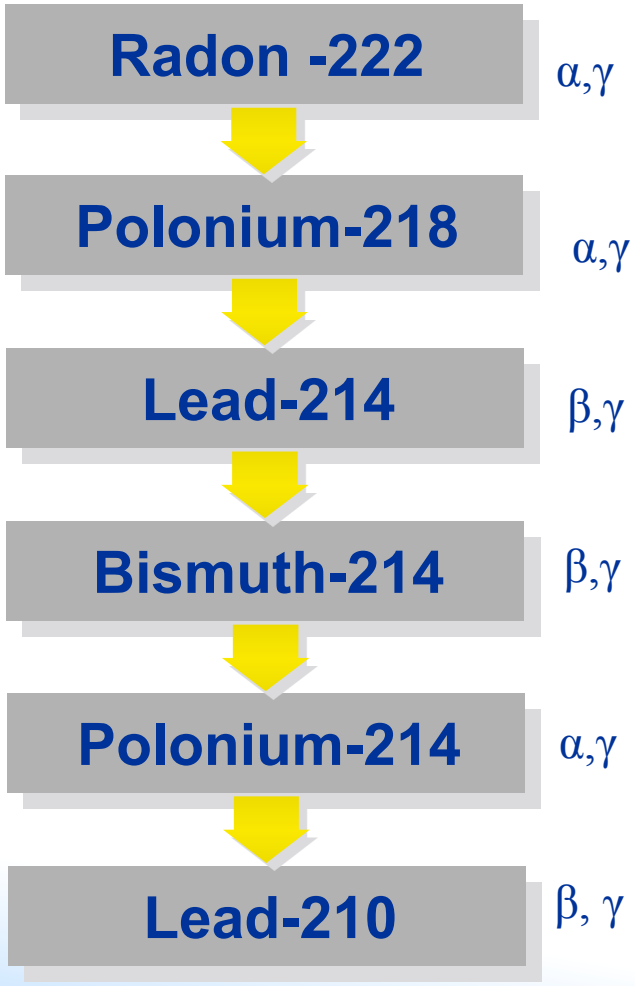


Unidades de Medida

- Rn se mide en Bq/m^3
- Productos de desintegración del radón (PDR) en WL

- 3.700 Bq/m^3 de Rn en equilibrio con PDR produce 1 WL
- 37 Bq/m^3 = 2,22 desintegraciones radiactivas por minuto

Unidades de Medida



Cada tipo de instrumento analiza uno o más de los PDR correspondiente

- α
- β
- γ

¿Qué se recoge de la muestra de radón? Lo que observa el laboratorio

- La mayoría de los dispositivos filtran los PDR
  - Radiación gamma de los PDR
  - Radiación alfa del radón y los PDR
  - Ionización del radón y los PDR
  - Daños a los materiales causados por las radiaciones alfa del radón y los PDR
  - Radiación alfa y beta del radón y los PDR

α

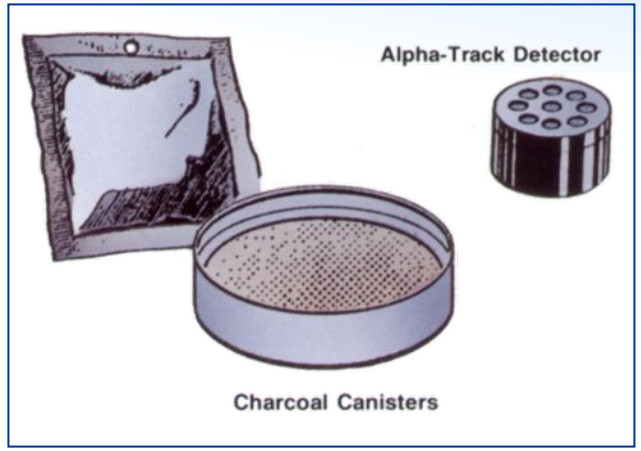
β

γ

Descripción general - dispositivos de medición de Rn

- Pasivo, integración por tiempo
  - Adsorción de carbón activado
  - Centelleo de carbón líquido
  - Detector de trazas alfa
  - Cámara de iones electreto





Source: http://www.epa.gov/radon

- Muestreo de radón al azar instantáneo



Source: http://www.radelec.com

- Monitoreo continuo de radón

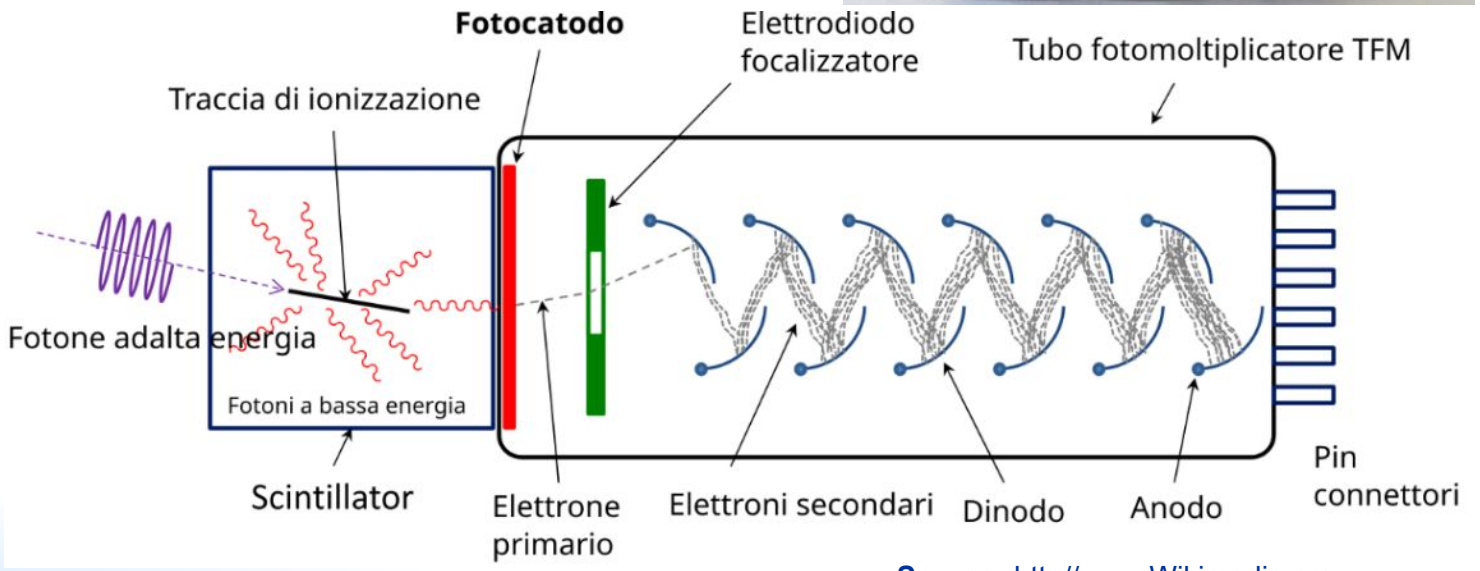
Descripción general - dispositivos de medición de Rn

- Muestreo de radón al azar instantáneo
  - Celda de centelleo y tubo fotomultiplicador

- Monitoreo continuo de radón



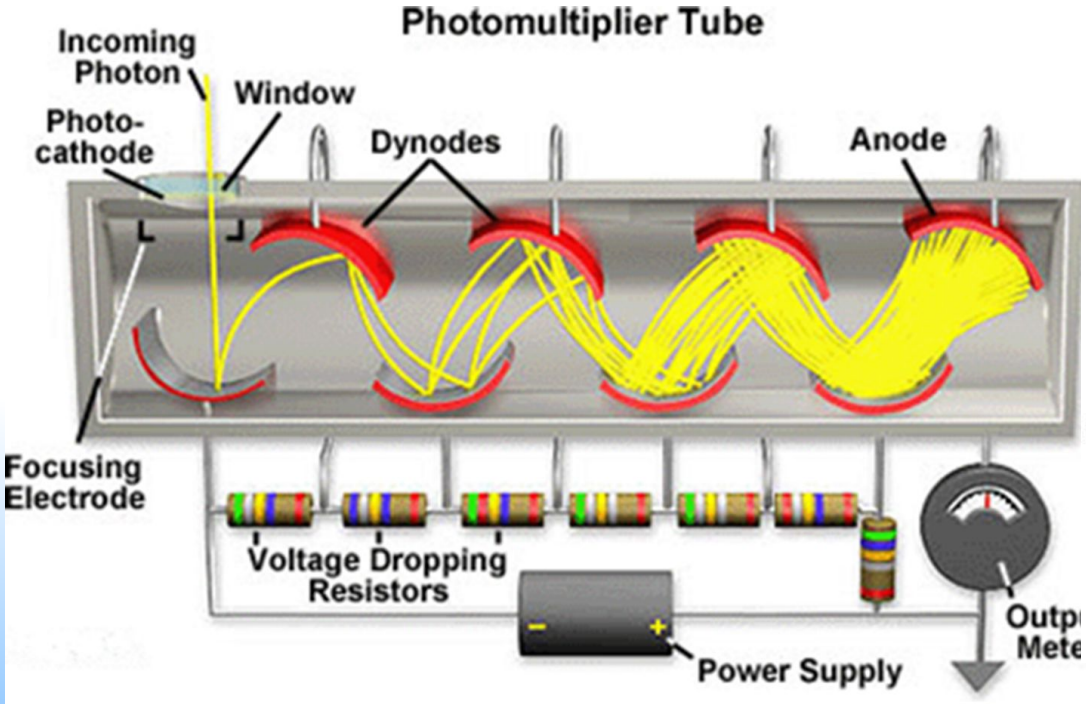


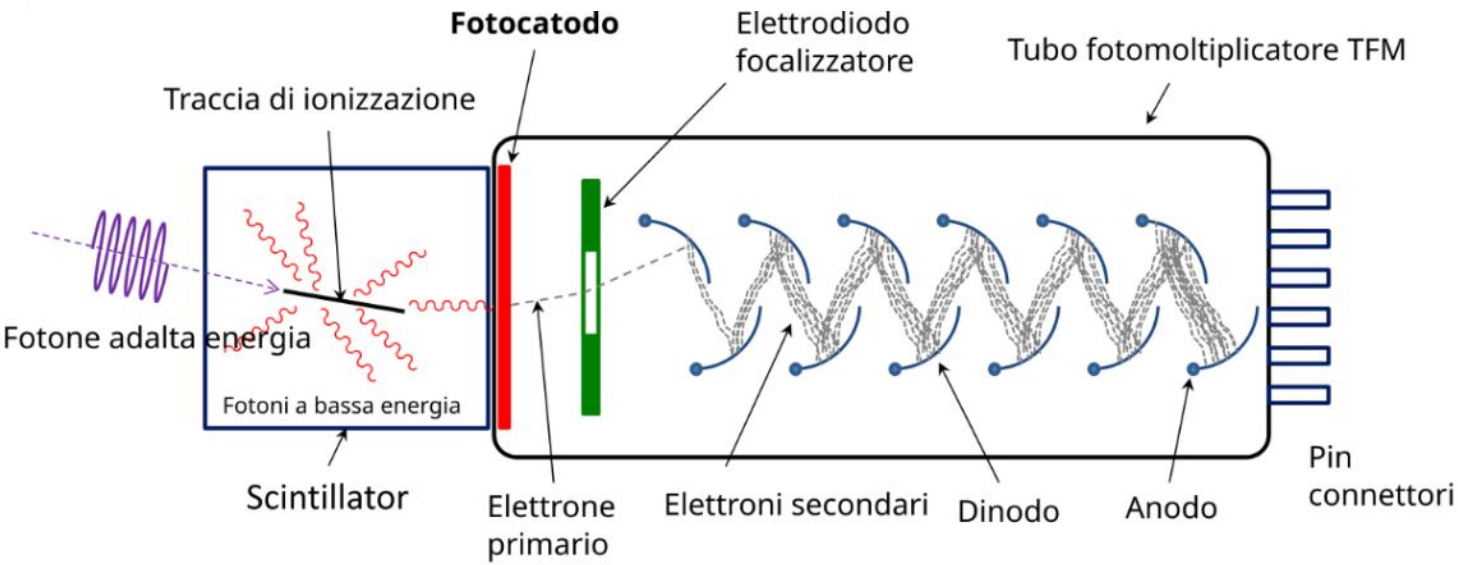


Source: http//www.Wikimedia.org

Descripción general - dispositivos de medición de Rn

- Fotones entran por una ventana con cátodo,
- Electrones se concentran y chocan con dínodos
- Resistencias de reducción de voltaje mueven el fotón hacia el ánodo y luego al medidor de salida





Source: http//www.Wikimedia.org

Descripción general - dispositivos de medición de Rn

- Pasivo, integración por tiempo
- Muestreo de radón al azar instantáneo
- Monitoreo continuo de radón
  - Celda de centelleo y tubo fotomultiplicador
  - Cámara de iones de pulso – Femto-Tech
  - Chip de silicio de estado sólido (SunNuclear)







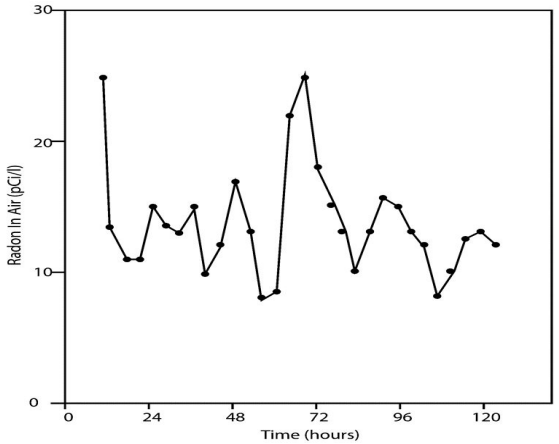






Dispositivos de medición de Rn

- La única forma de saber el nivel es haciendo una prueba
  - Pruebas a corto plazo para la detección de riesgos potenciales para la salud (2-90 días)
  - Pruebas a largo plazo para una determinación más precisa del riesgo para la salud (3 meses o más)
- Mitigar si se encuentran niveles elevados - construcción resistente al radón – RRNC



Junta Nacional de Seguridad del Radón –
Programa Nacional de Competencia del Radón
ANSI/AARST: https://standards.aarst.org/#pb

Dispositivos de medición de Rn

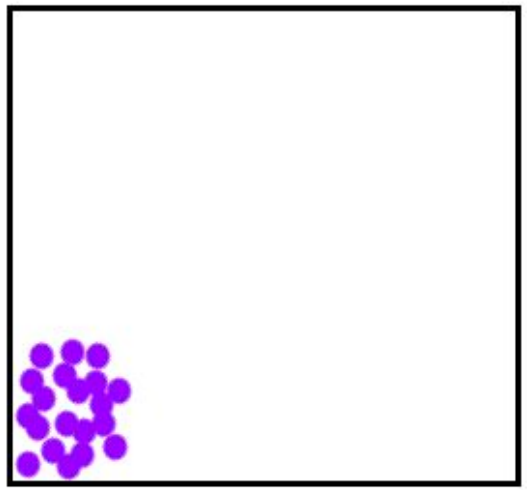
Los dispositivos de prueba deben pasar pruebas de acuerdo con los procedimientos desarrollados por: el Programa Nacional de Competencia en Radón y la Junta Nacional de Seguridad del Radón

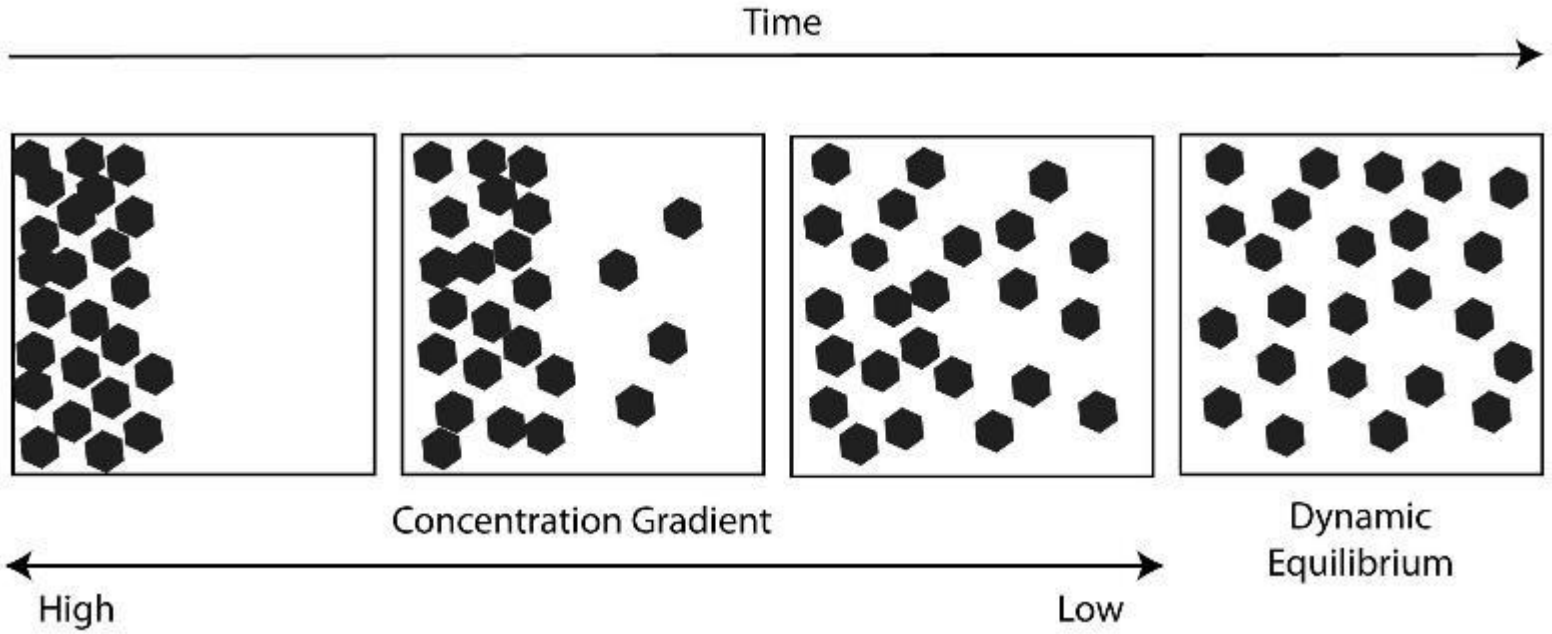
Junta Nacional de Seguridad del Radón – Programa Nacional de Competencia del Radón
ANSI/AARST:

¿Cómo se toman las muestras de radón?

- Pasivamente
  - Rn se difunde en el dispositivo, se adsorbe en el carbón, se desintegra emitiendo PDRs
  - Dispositivos pasivos, al igual que muchos monitores continuos de radón aceptan el radón de esta forma
- Activamente
  - Muestra de aire se extrae a través de un filtro hacia una celda para conteo de radón o WL mediante una bomba de aire

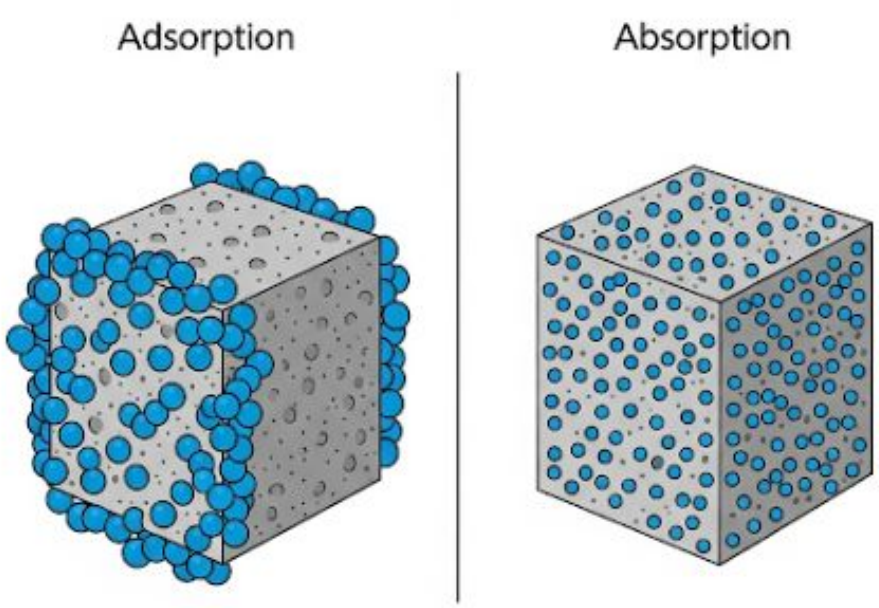
Proceso de difusión





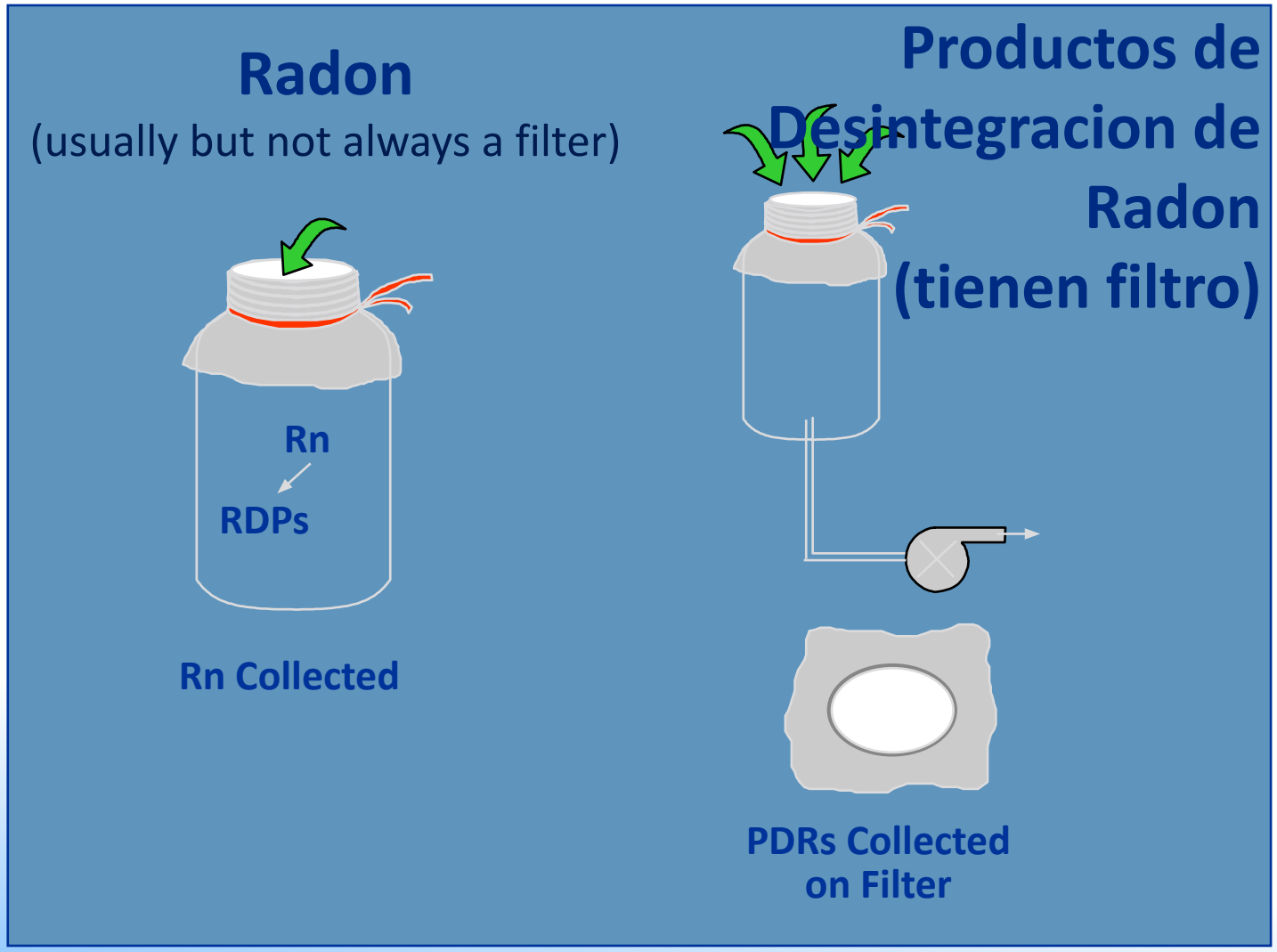
- Difusión por gradiente de concentración: diferencia de concentración, moviéndose de alto a bajo, buscando equilibrio dinamico

Adsorción vs. Absorción

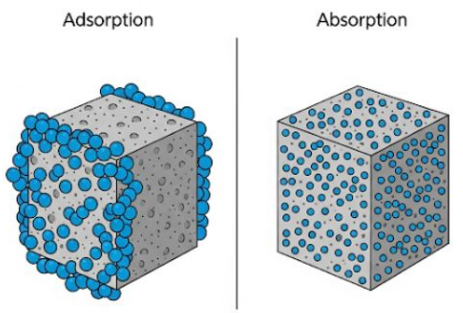


- Adsorción - proceso donde las moléculas se adhieren a una superficie
- Absorción - proceso donde las moléculas son captadas e integradas en una sustancia

Adsorción vs. Absorción



- Algunos, pero no todos, los dispositivos de medición de radón utilizan un filtro
- Todos los dispositivos de medición del producto de desintegración del radón utilizan un filtro



Interferencia de medición de gas torón (radón 220) con radón 222

- Riesgo a la salud de **Torón** se considera muy bajo debido a la distancia del suelo a las zonas habitadas y a la **corta vida media - 55 segundos**
- Se puede medir junto con el **Radón** 222
  - Mediciones de detección de radón (diagnóstico) mediante una celda de centelleo
  - Dispositivos de medición de PDR

¿Qué mides: el radón o los PDRD?

- EPA recomienda mediciones de radón no PDR, para decisiones de mitigación Mediciones de PDR es más difícil que medición de radón
- Uso de dispositivos de PDR ha disminuido debido a la dificultad y costos

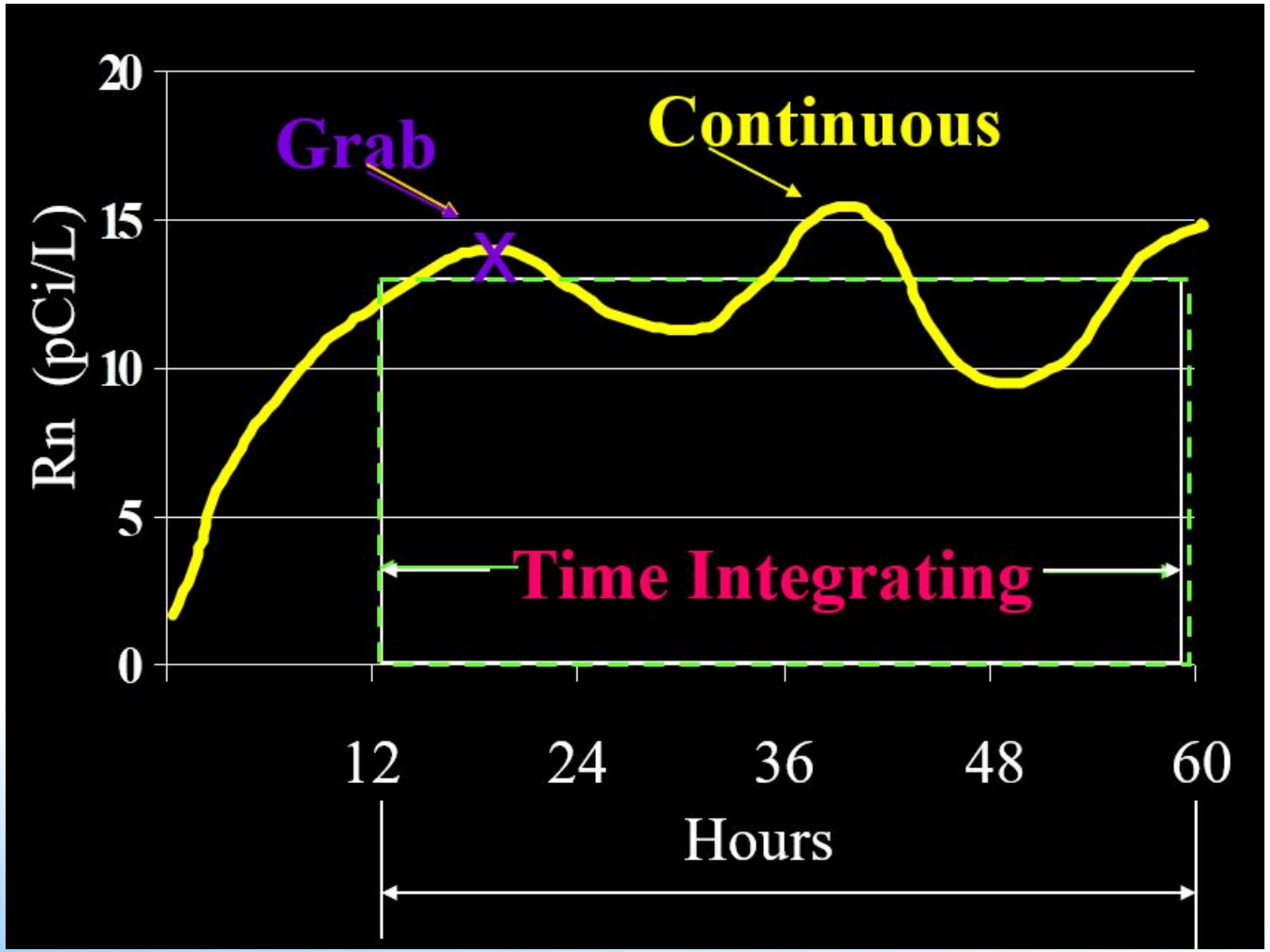
Incertidumbres con todos los dispositivos de medición

- ¿Qué aumenta la incertidumbre? Medición...
  - Concentraciones pequeñas
  - Periodos de medida de tiempo corto
  - Dispositivos de menor sensibilidad a bajas concentraciones
  - Sensibilidad = límite inferior de detección

Incertidumbres con todos los dispositivos de medición

- ¿Qué puede hacer para limitar la incertidumbre?
  - No controlamos la concentración Rn
  - Propietarios nos limitan a periodos de medición cortos
  - Seleccione dispositivos con sensibilidad para medir concentraciones más bajas y de uso corto
  - Siga el control de calidad
- Recordad que el monitoreo es un proceso de observación constante del Rn a lo largo del tiempo

Características de los métodos de muestreo



- Integración temporal
  - Promedio a largo tiempo
- Continuo
  - Tendencias y promedios
- Agarrar o rastrear instantaneamente

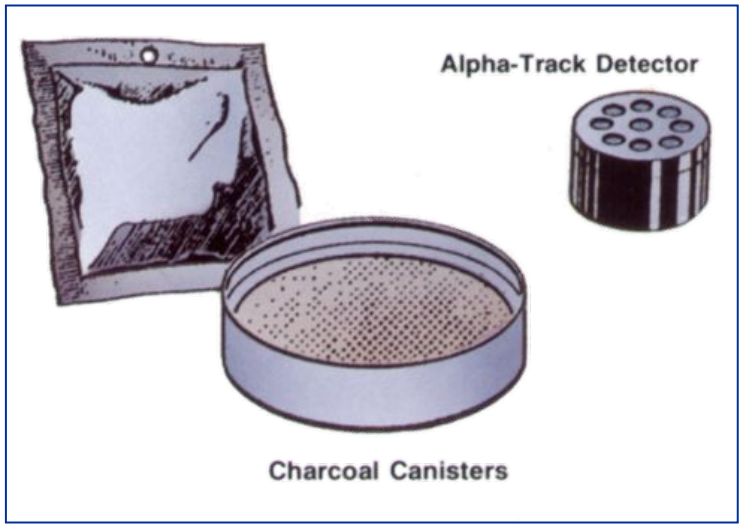
- Nota: Cuanto más cercana sea la duración de medición a 48 horas, más importante será medir **ciclos diurnos** completos

Dispositivos de medición de radón con integración temporal

- Dispositivo de carbón activado
- Centelleo de carbón líquido
- Cámara de iones electreto
- Detector de trazas alfa



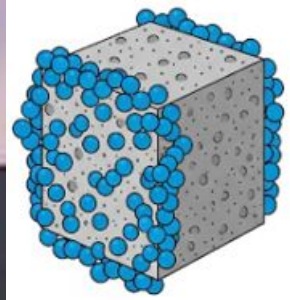




Dispositivos de medición de radón con integración temporal

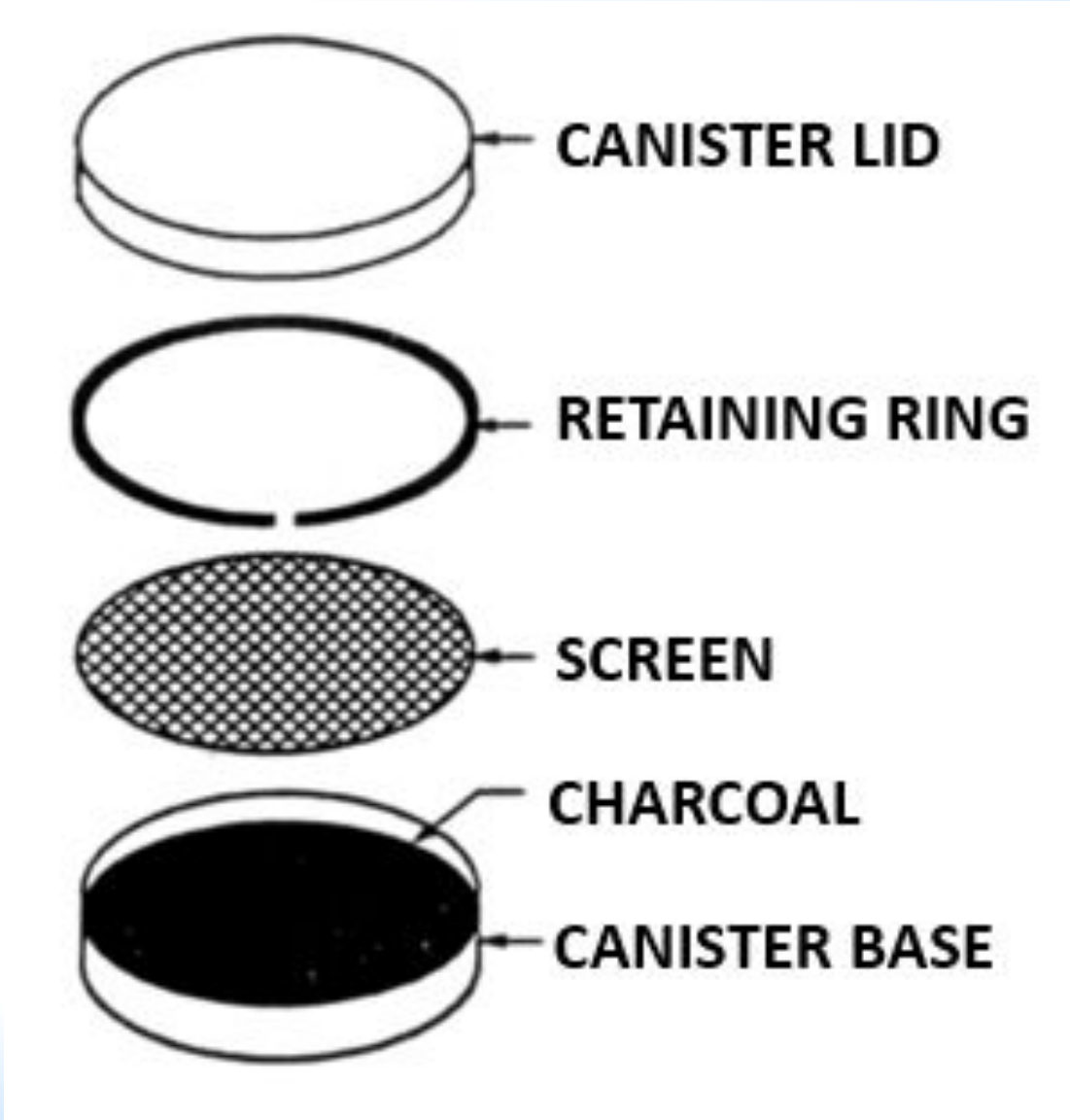
- Dispositivo de **carbón activado** son de prueba de corto plazo





- Dispositivos de cara abierta (Rn y PDRs entran – expone 2-4 días)
- Dispositivos de barrera de difusión (Rn entra – se expone 7 días)
- Recipiente hermético con 25 a 90 gramos de carbón activado, Rn se adsorbe en los gránulos de carbón
- Detecta desintegración gamma del Pb-214 y el Bi-214 por espectroscopia de rayos gamma (detecta la energía de los rayos gamma)

Dispositivos de medición de radón con integración temporal



Dispositivos de medición de radón con integración temporal

- Dispositivo de carbón activado - configuración









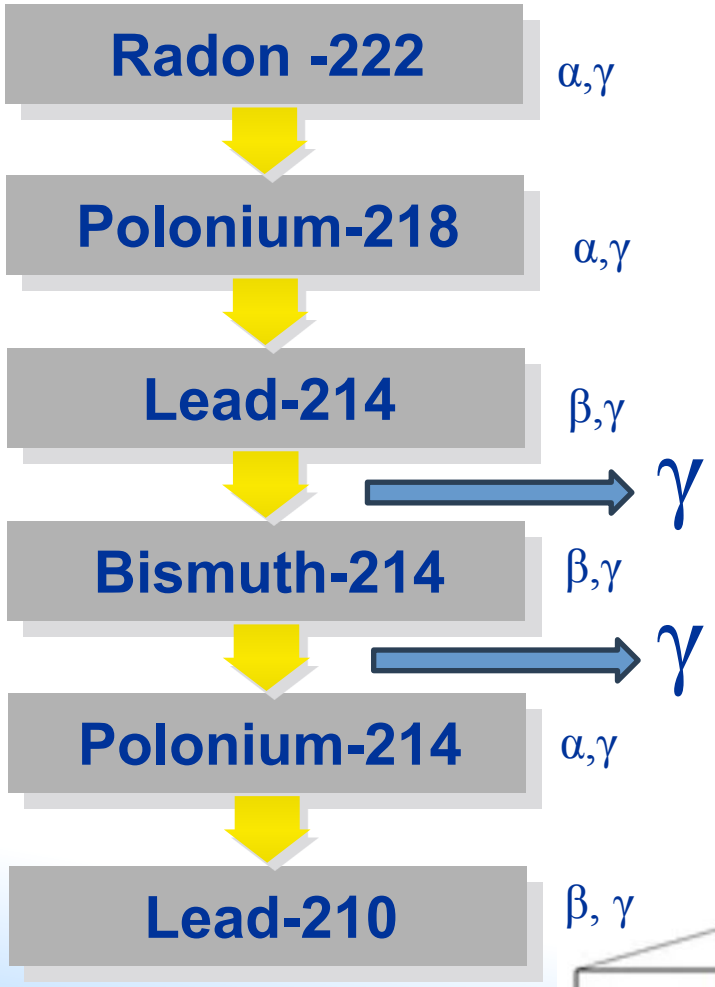


Guarde la cinta para sellarla y enviarla por correo más tarde

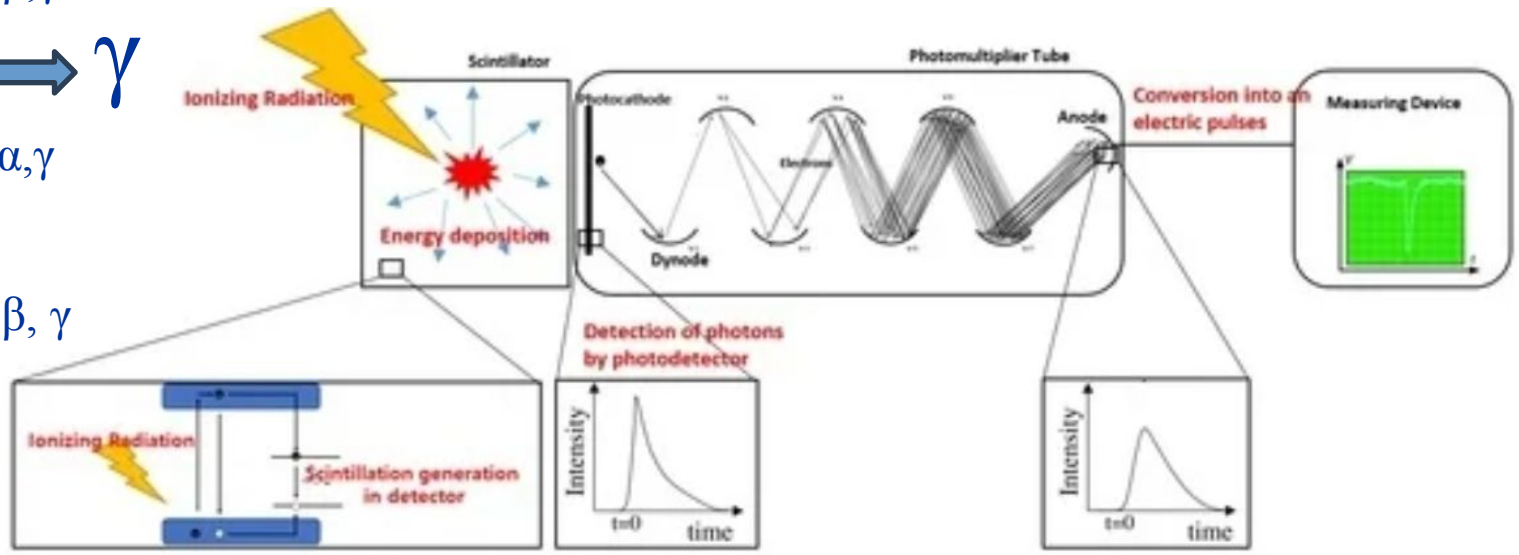
No la cambie

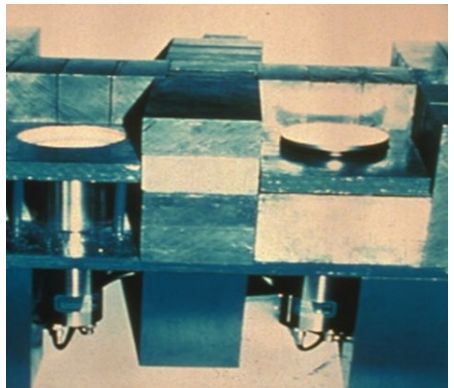
¿Por qué?

¿Qué mide el laboratorio en el carbón activado?



- Calcula concentración de radón midiendo actividad gamma del Pb-214 y el Bi-214
- PDRs vienen de la desintegración Radón
- Detectado por un detector de centelleo acoplado a un tubo fotomultiplicador





Preocupaciones, ventajas y desventajas del carbón activado

- Inclinados hacia el **último período** de medición
- La entrada de **humedad** debe ser restringida en el caso de los dispositivos de barrera de difusión y compensada en la calibración de los dispositivos abiertos.
- Sensible al **flujo de aire**, si aumenta, las mediciones daran valores altos
  - Los recipientes se pesan antes de salir y después de regresar al laboratorio
- Sensible a diferencias de **temperatura**
  - Se han observado diferencia de 35% entre 12 y 27 °C



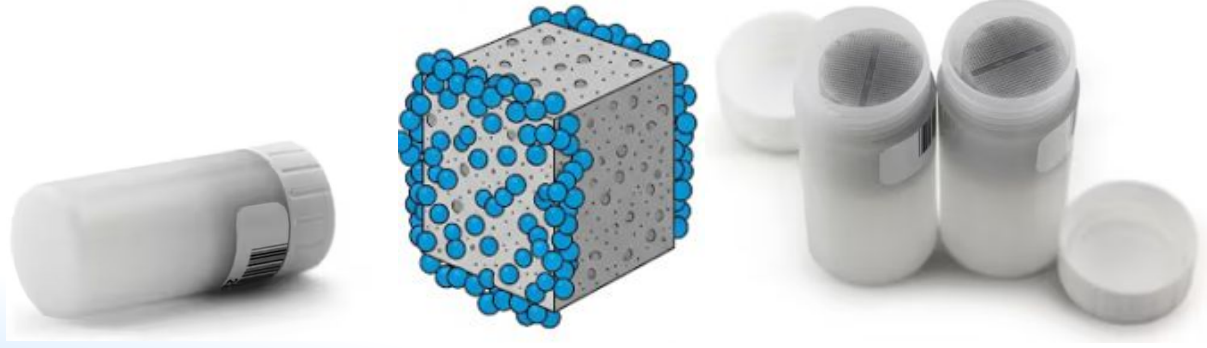
Preocupaciones, ventajas y desventajas del carbón activado

- Económicos, pasivo, no requiere electricidad
- Resultados se pueden obtener rápidamente
- Limitado a muestreos a corto plazo
- Laboratorio tiene que hacer correcciones para absorción de humedad
- No proporciona indicación de cambios en niveles de radón



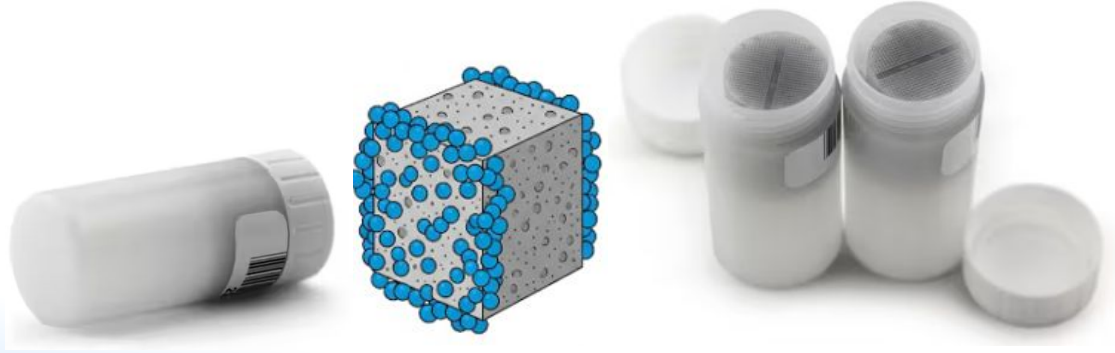
Dispositivo de centelleo de carbón líquido

- Frasco de plástico o vidrio con 1 a 3 gramos de carbón activado
- El radón se difunde en el frasco, donde se recoge en carbón
- Impide que los PDR pasen a través del filtro
- Funcionan convirtiendo la energía liberada por el decaimiento del radón y sus PDRs en pulsos de luz, que se detectan y cuentan para determinar la concentración



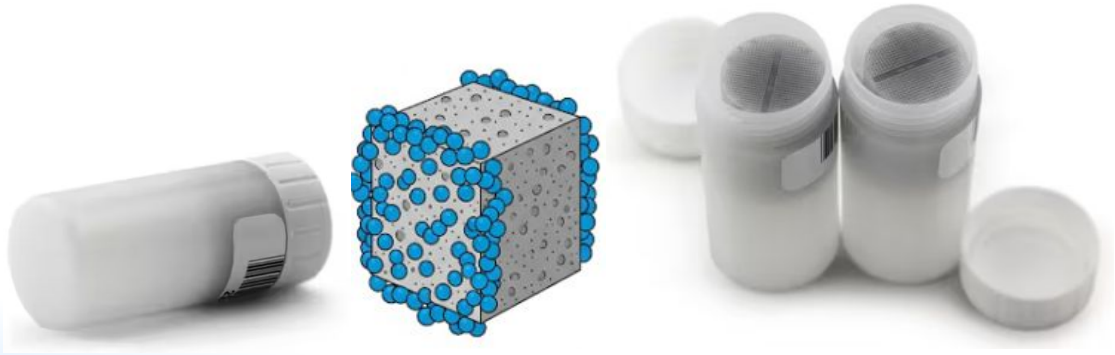
Dispositivo de centelleo de carbón líquido

- Diseñado solo para mediciones a corto plazo – largo costoso
- El radón se **adsorbe y desorbe** a el carbón continuamente
- Se extrae el carbón del vial y se añade a un segundo vial, que contiene un **centelleante líquido**
  - Después de 4 horas (equilibrio secular), las alfa y beta del radón y sus PDRs hacen que el **centelleante libere luz visible**
- Los **pulsos de luz** visible se cuentan con un tubo fotomultiplicador



Preocupaciones, ventajas y desventajas del centelleo líquido

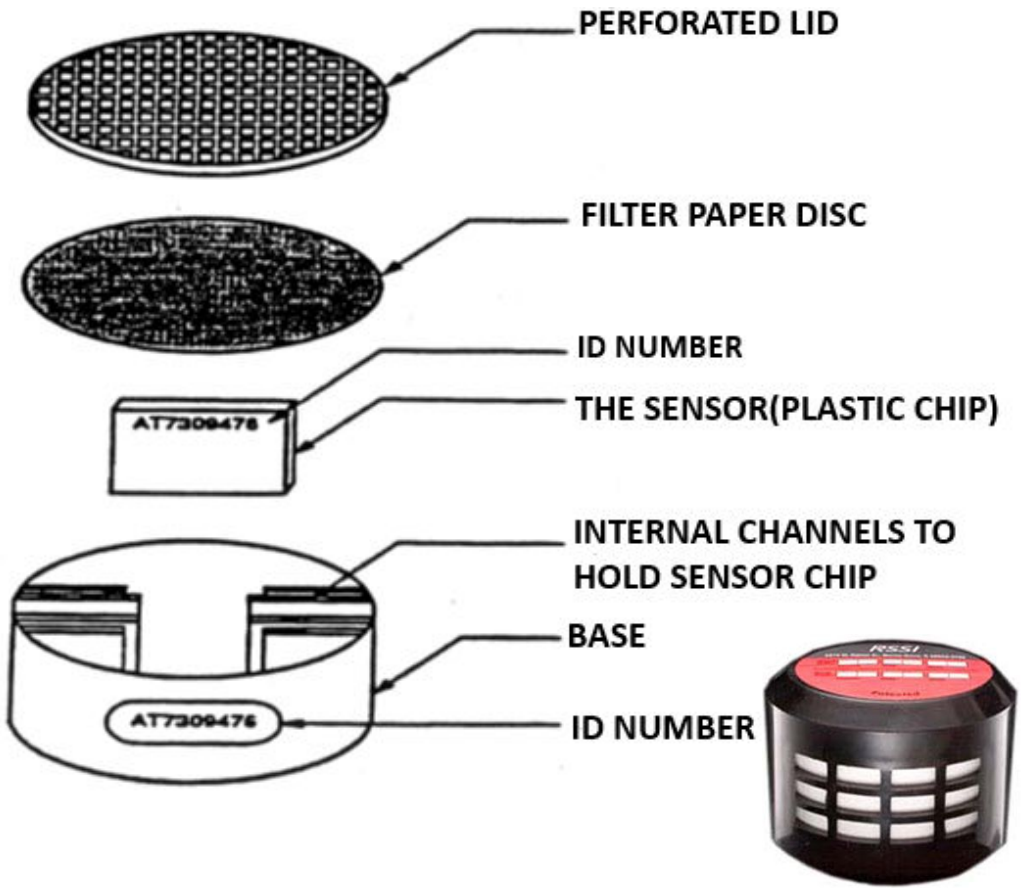
- Posibilidad de valores elevados por turbulencias o brisas
- Limitado a muestreos a corto plazo
- Puede medir Rn en agua
- La precisión aumenta a ≥ 150 Bq/m3
- Económico a corto plazo



Detectores de Traza Alfa



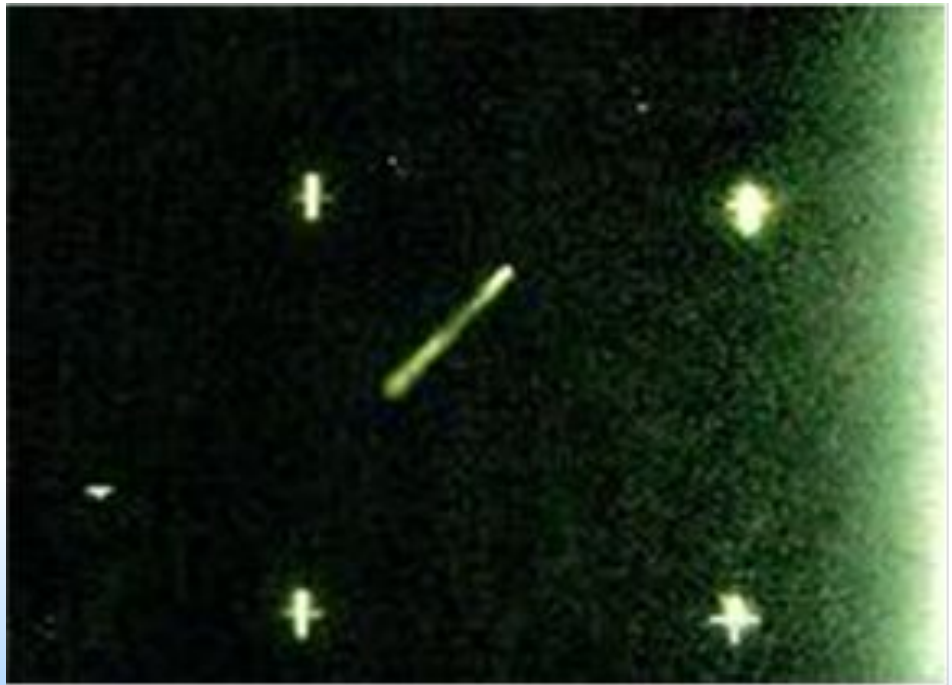
- Registran partículas alfa de PDR por daños de radiación en el plástico
- Trazas contadas bajo microscopio
  - Densidad (#trazas por área) es proporcional a la concentración
- Se abre un recipiente **hermético**, con un pequeño trozo de un chip o **película de plástico** especial, y el radón se **difunde** a través de un filtro a el recipiente

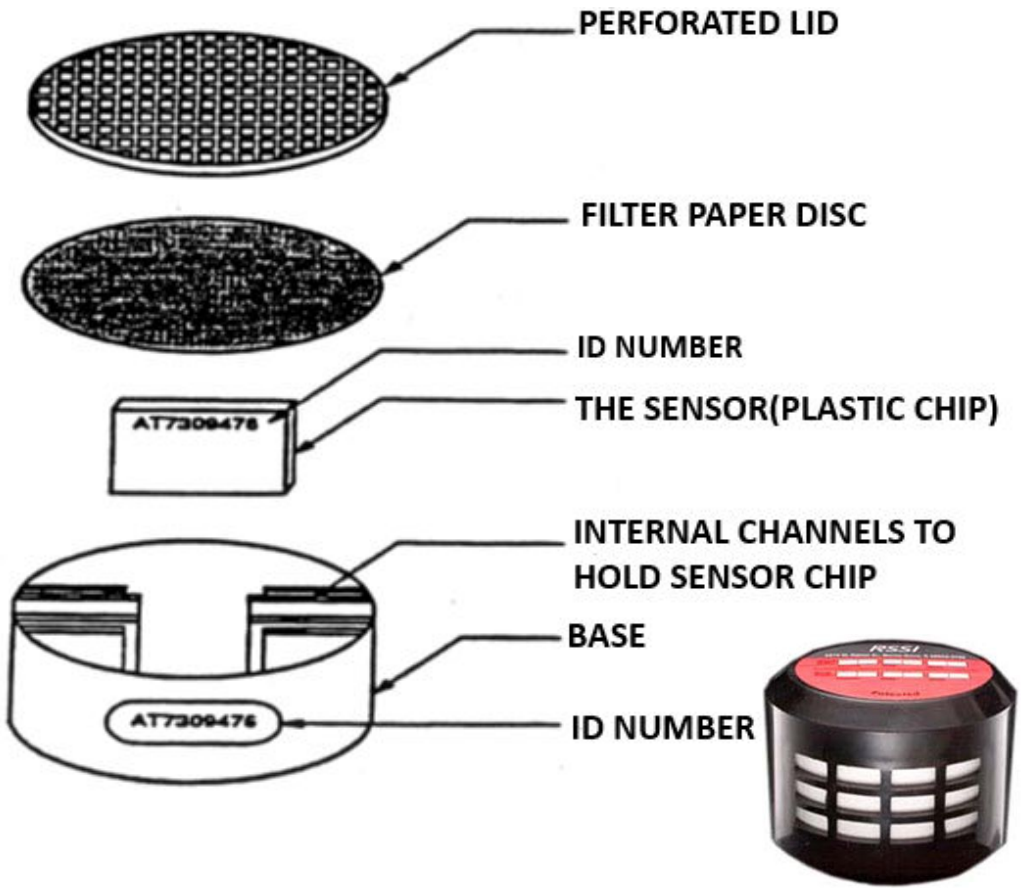


Detectores de Traza Alfa

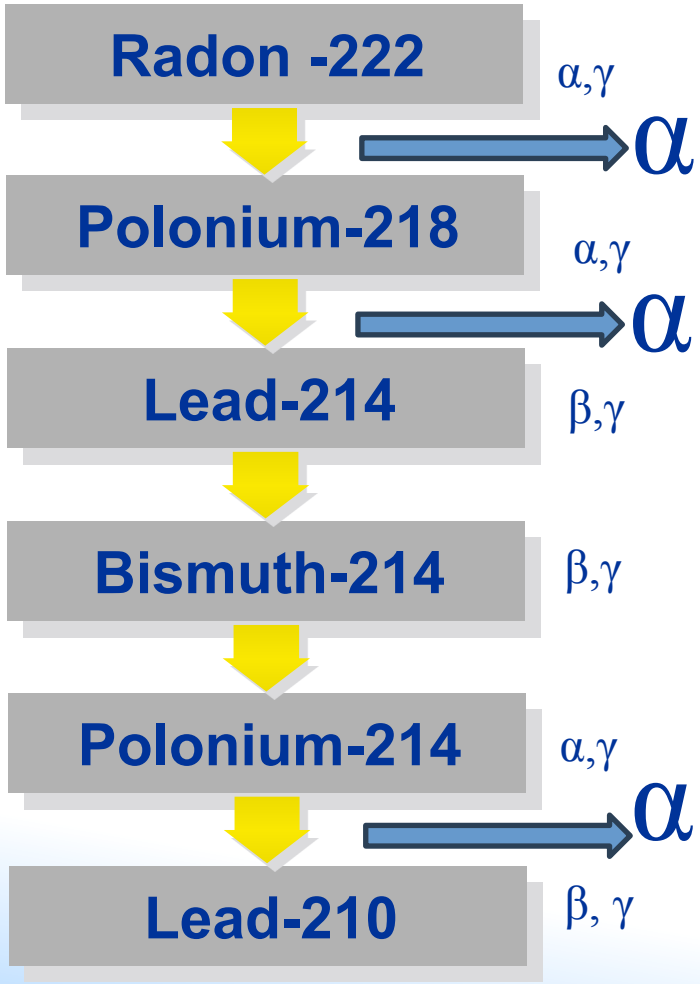


- Partículas alfa del radón, Po-218 y Po-214 golpean el chip de plástico y causan daños submicroscópicos llamados trazas alfa





¿Qué mide el laboratorio en detectores de traza?



- Calcula concentración de radón midiendo actividad alfa del Rn-222, Po-218 y el Po-214
- El laboratorio retira el chip de plástico, lo calienta en un **baño cáustico** para mejorar y fijar las marcas
- El plástico **tratado químicamente** para estabilizar y contar trazas por microscopio o un lector óptico



Preocupaciones, ventajas y desventajas de detectores de traza

- **Errores** de precisión a **concentraciones bajas** de radón
- **Sensibilidad** relativamente **baja**
- Diseñado para mediciones a **largo plazo**
- Conveniente y Relativamente económico
- No requiere electricidad



Cámaras de iones electretos (ES y EL)



- Iones producidos por la radiación dentro de la cámara reducen la carga o el voltaje del electreto
- El voltaje se mide con un voltímetro portátil.
- Proporciona mediciones integradas en tiempo real a corto plazo (ES) o largo plazo (EL), desde dos días hasta un año

Cámaras de iones electretos (ES y EL)

- Se puede utiliar la misma Botella se usa para L and S
- Buenos para monitoreo a largo plazo



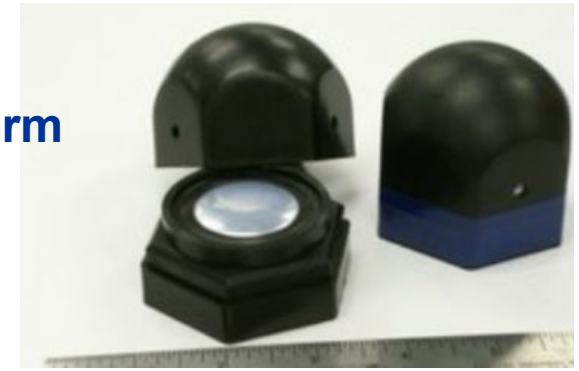
E-perm Unit



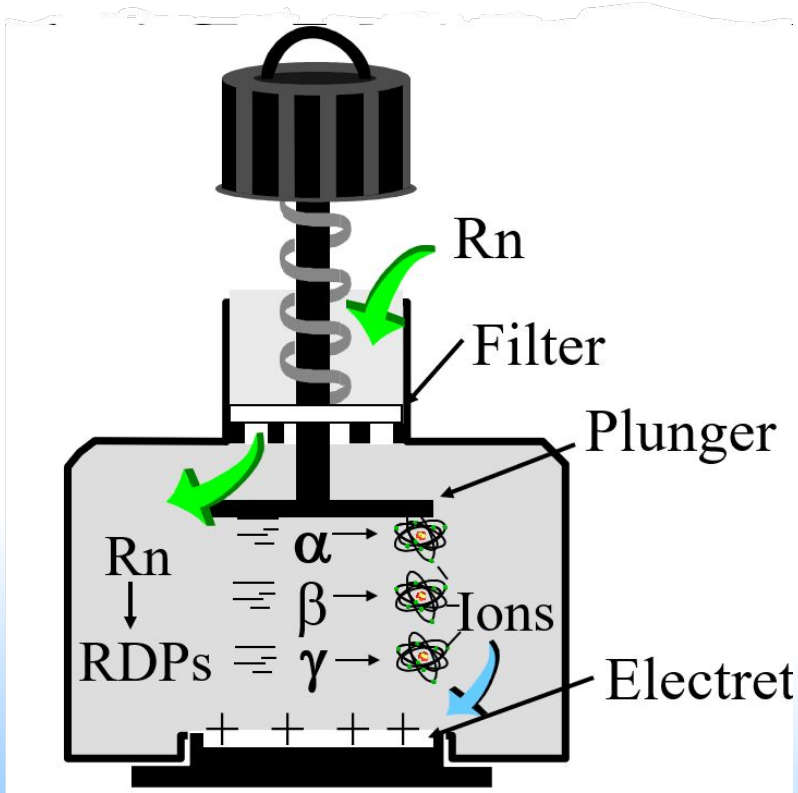
Voltage Reader



Long-term and short-term Electrets

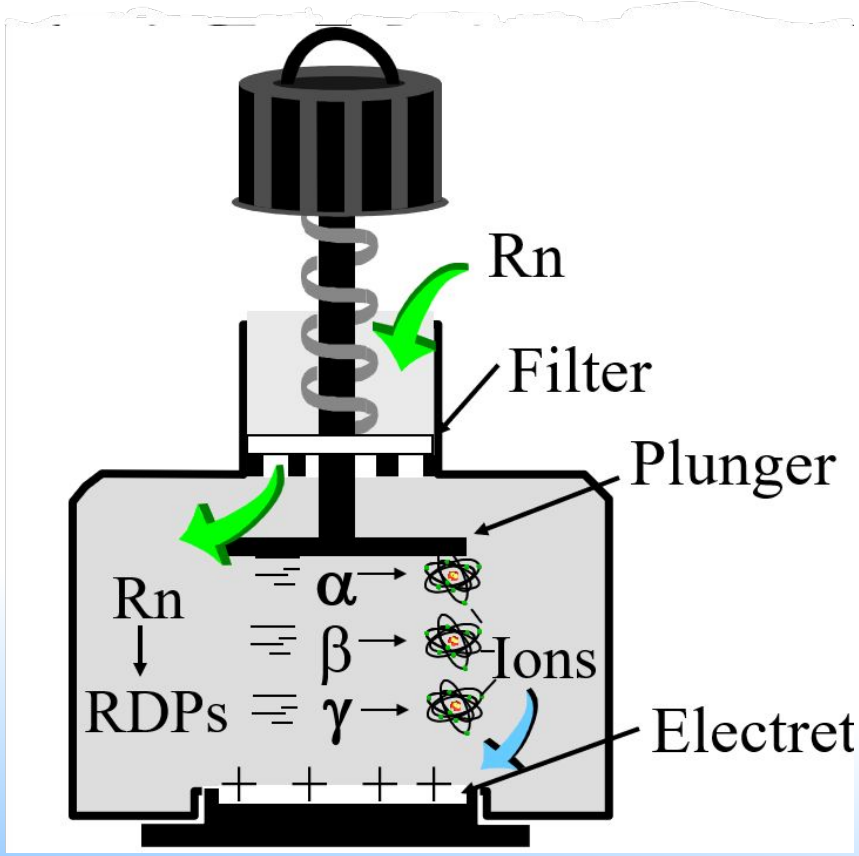


Cámaras de iones electretos (ES y EL)



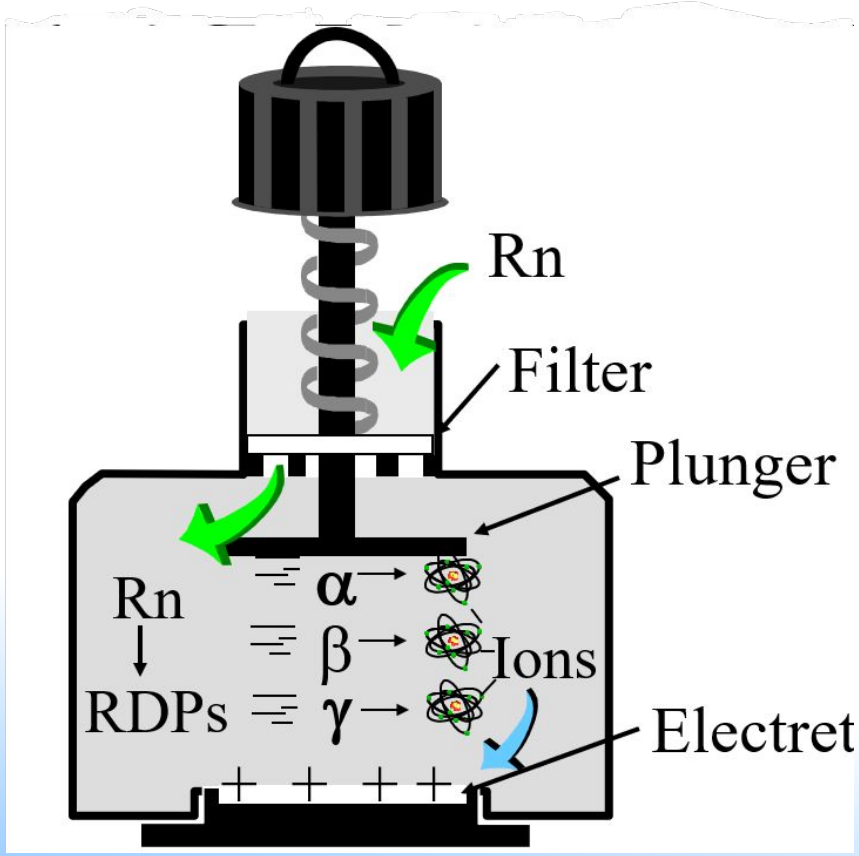
- Radón en el aire entra a una pequeña cámara de recolección con forma de botella, de plástico conductor de electricidad
- La cámara está acoplada a un **disco** de **teflón**, electreto, que contiene un campo electrostático
  - Cuando átomos de Radón o sus PDRs se desintegran, sus núcleos emiten partículas **alfa, beta y gamma**. Partículas de alta energía colisionan con átomos de oxígeno y nitrógeno, liberando electrones de orbitas

Cámaras de iones electretos (ES y EL)

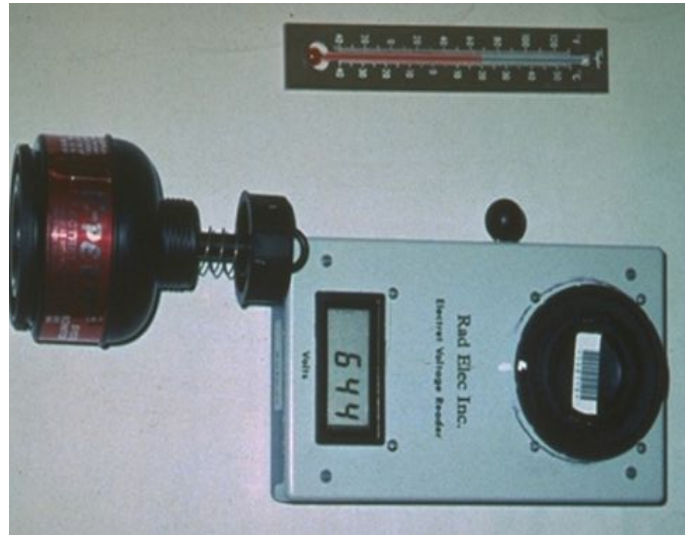


- Los **iones y electrones** son **atraídos** por el campo eléctrico establecido por el **electreto** reduciendo su carga eléctrica
- Se utiliza un **voltímetro** para medir la **pérdida de voltaje** causada por la acumulación de **iones y electrones** producidos durante la desintegración del radón
- La carga electrostática se mide antes y después de la prueba

Cámaras de iones electretos (ES y EL)



- Es fundamental **no tocar** el electreto para evitar que la carga electrostática se agote accidentalmente debido a la conductancia de la piel
- La caída de voltaje en el EIC ~ 2 voltios/día/ Bq/m^3
- Electretos deben leerse a la misma temperatura y con humedad controlada



Preocupaciones, ventajas y desventajas de Cámaras de electretos

- Son reutilizables hasta 200 voltios
- Análisis in situ con un lector de voltaje portátil y una computadora o calculadora
- Se puede utilizar para mediciones a corto y largo plazo
- Son sensibles a la radiación gamma externa



Preocupaciones, ventajas y desventajas de Cámaras de electretos

- Sensibles a cambios de **altitud**, realize lecturas iniciales y finales en la misma ubicación
- Sensibles a la **humedad** excesiva lo cual puede afectar la precisión del voltímetro
- Sensibles a grandes diferencias de **temperatura**, puede corregirse si se conocen las temperaturas
- Efectivos para monitoreo constante



Monitores Continuos de Radón

- Graban en tiempo real y de forma continua
- El aire pasa a través de un filtro mediante una bomba de aire o de forma pasiva
  - Mayoría son pasivos (sin bomba de aire)
  - El aire entra en la cámara de conteo donde se cuentan los eventos de partículas alfa










Monitores Continuos de Radón

- Tres tipos
  - Celda de centelleo y tubo fotomultiplicador o cámara de ionización de aire
  - Cámara de iones pulsados
  - Chip de silicio de estado sólido










Monitores Continuos de Radón

- Toman muestra continua de radón en el aire mediante bombeo activo o difusión a través de un filtro
- Se contabilizan las **desintegraciones durante intervalos** de tiempo específicos, lo que revela variaciones temporales
- Periodo de medición: cada hora, cada día, varios días en intervalos cortos










Monitores Continuos de Radón

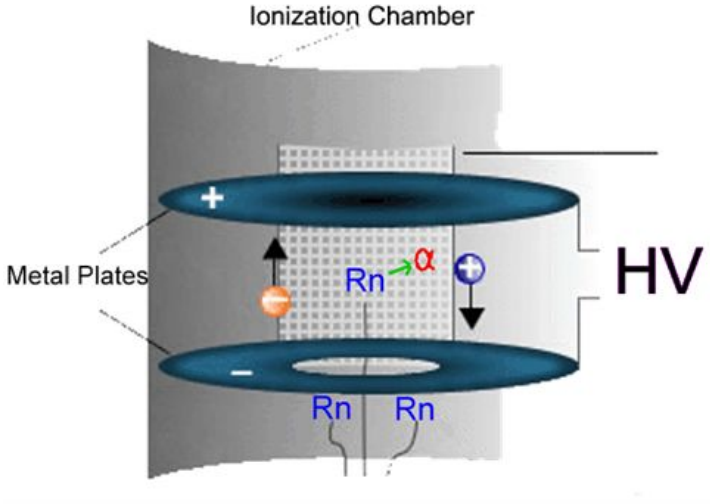
- Debe calibrarse en una cámara de radón y la tasa de conteo de fondo debe verificarse periódicamente
- Mide y registra cada hora para usarlo como un dispositivo independiente
- impactos proporcionan pulsos eléctricos contables











Monitores Continuos de Radón

- Celda de centelleo Lucas: fósforo de sulfuro de zinc en las paredes emite fotones en respuesta a partículas alfa de los PDR
- Entran al tubo fotomultiplicador y se miden los pulsos



PYLON Continuous Monitor











Monitores Continuos de Radón -Sensibilidad









Sensitivity				
Device	dps @150 Bq/m^3	cph @ 4 pCi/L	Costo Estimado 2024	Lugar
Sun Nuclear 1028	0.003	11	$1,100 - $2,300	U.S. FL
Sun Nuclear 1029	0.006	22	$1,500	U.S. FL
Rad Star RS 500	0.005	18	$3,301	U.S. MA
Radon Scout	0.0055	22	$1,650	Germany
Femto- TECH 510	0.02	72	$6,152	U.S. OH
RTCA E-Smart	0.02	72	$3,376	U.S. NY
Radalink Aircat	0.028	103	Lease Only	U.S. GA
Alpha Guard	0.047	208	$9,500	Germany
Pylon AB-5 (active)	0.095	343	$5,300+	Canada
Eberline	0.4	1440	$9,500	U.S. NM

Preocupaciones, ventajas y desventajas de Monitores Continuos de Radón

- En modo pasivo, el monitor tarda ~ 4 horas en responder a los cambios en niveles de radón
  - No utilice las primeras 4 horas de medición
- Precisión relativamente buena (mayoría de modelos)
- Exposición varia de 48 horas a meses










Preocupaciones, ventajas y desventajas de Monitores Continuos de Radón

- Variaciones por hora o con mayor frecuencia (según modelo)
- Puede descargar o imprimir resultados
- Puede indicar cuándo hay manipulación o ventilación










Preocupaciones, ventajas y desventajas de Monitores Continuos de Radón

- Algunos modelos son pesados y difíciles de mover
- Requiere un operador capacitado y certificado
- Calibración anual
- Costosos





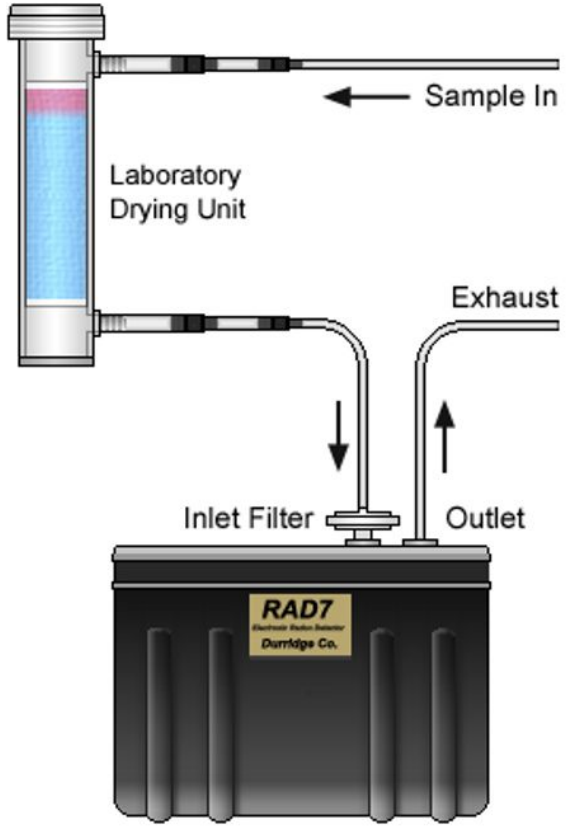





Monitores Dispositivo de muestreo de radón:
Rastreador

- Rastreo consiste en tomar muestras al azar, en lugar de esperar 4 horas para que el radón recolectado se equilibre con sus PDR, se mide inmediatamente después de la succión
- Herramienta de diagnóstico para encontrar vías de entrada





DURRIDGE RAD7

Preocupaciones, ventajas y desventajas de muestreo de radón: Rastreador

- Proporciona medición rápida para identificar diferencias relativas entre múltiples mediciones
- Monitores continuos de radón con bombas de aire se pueden utilizar de esta forma
- Recoge muestras de PDR en el filtro





Preocupaciones, ventajas y desventajas de muestreo de radón: Rastreador

- Partículas alfa medidas entre 40 y 90 minutos
- Contabilizadas durante y/o después del muestreo
- El tubo fotomultiplicador cuenta pulsos de luz producidos por la interacción de desintegraciones alfa y el fósforo de sulfuro de zinc
- Portable





Preocupaciones, ventajas y desventajas de muestreo de radón: Rastreador

- Puede adquirir muestra de radón/PDRs
- Pueden realizar varias pruebas en un día
- Proviene de una parte específica de la casa, lo que se puede utilizar para la detección de fuentes
- Especialista conoce condiciones de la casa





Preocupaciones, ventajas y desventajas de muestreo de radón: Rastreador

- Resultados pueden no ser representativos
- Debe controlar las condiciones de medida 12 horas antes de la muestra. No puede medir concentración a largo plazo
- Requiere operador experto, Sistema costoso







Monitoreo de Radón en el Agua

Monitoreo de radón en el agua

- Monitoreo Proceso de observación constante de una variable o un conjunto de variables a lo largo del tiempo.



- Se disuelve en el agua subterránea a medida que fluye a través de formaciones rocosas en suelos que contienen uranio
- Riesgos para la salud: principalmente por la inhalación del gas liberado del agua

Monitoreo de radón en el agua

- Pozos privados son la fuente más común de radón en el agua potable, extraen agua directamente del subsuelo



- Aguas municipales generalmente tienen niveles bajos de radón, pueden ser una fuente de exposición si el agua proviene de pozos profundos
- Rocas y suelos ricos en uranio (regiones geológicas como del granito), tienen mayores probabilidades de tener altos niveles de radón

Monitoreo de radón en el agua

- Monitoreo por propietarios de pozos privados es crucial para la salud. Primer paso para determinar si se necesita mitigación



- Se recomienda el monitoreo si el hogar usa agua de pozo, o si vive en un área geológica conocida por su alto contenido de uranio.
- Si los niveles de radón en el agua son altos, se recomienda mitigar y realizar un nuevo análisis para confirmar la reducción. Es importante monitorear los niveles de radón en el aire interior

Importancia del Radón en el Agua

- Hay tres posibles fuentes de radón en el aire en los hogares
  - Gas del suelo
  - Fuente de agua
  - Materiales de construcción



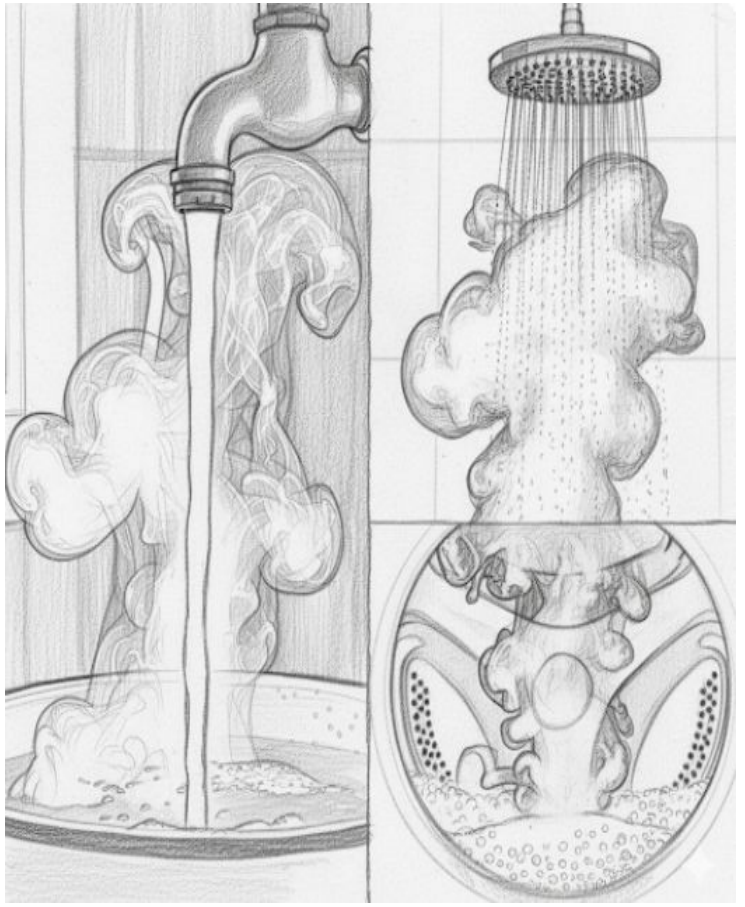
Importancia del Radón en el Agua

- EPA recomienda un nivel máximo de contaminante del agua 300 pCi/L (11.100 Bq/m^3) en fuentes públicas de agua potable
- MCL de uranio es 30 µg/L
- Estándar emisores beta combinado da un valor 4 mrem/año (0.04 mSv/yr)
- Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que los países establezcan propios niveles de referencia



Importancia del Radón en el Agua…

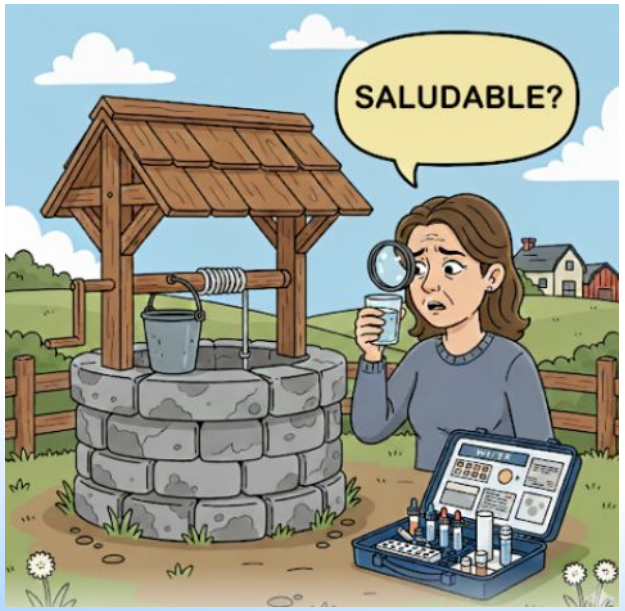
- El radón puede estar disuelto en agua, particularmente agua de pozo
- El radón se libera cuando el agua se airea dentro de la casa (en la ducha, plumas o grifos de agua, las lavadoras)
- Mientras más radón haya en el agua, más puede contribuir al nivel de radón en la casa



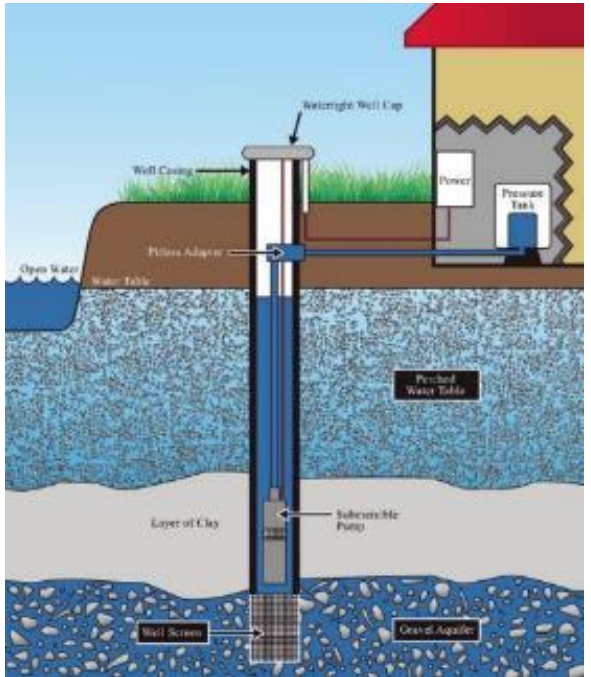


Niveles de Radón Contaminante

- Es saludable el agua de su pozo?
- ~ 18% de los residentes de Florida reciben agua potable de pozos privados
- La mayoría no tienen problemas, pero algunos tienen contaminantes que son dañinos para su salud





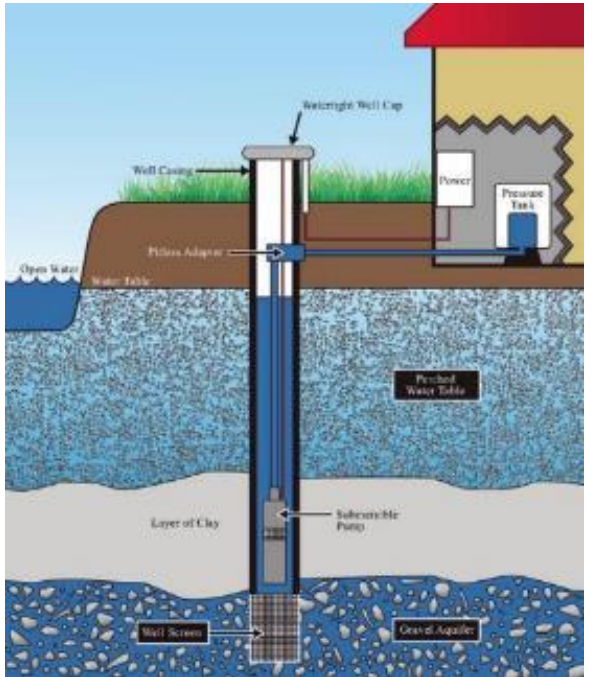


Niveles de Radón Contaminante

- Exposición a través del agua subterránea no tratada es un factor que contribuye a las rutas de inhalación e ingestión

  - Pozos privados suelen tener concentraciones de radón varias veces mas alta que suministros de agua municipales



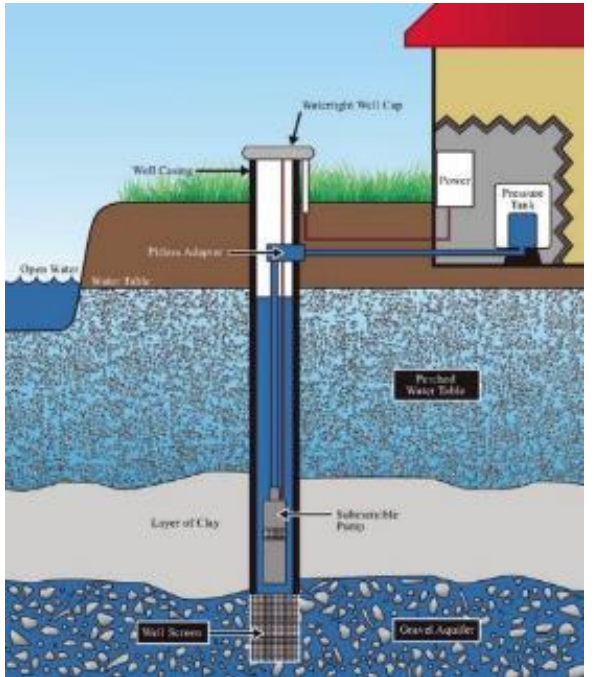


Niveles de Radón Contaminante

- El radón en las aguas subterráneas no solo es una preocupación debido a su contribución al radón del aire interior, sino también a la ingestión directa de agua potable con 222Rn elevado

- No existe mucha evidencia a que la exposición al radón a través del agua potable y el aire interior puede aumentar el riesgo de cáncer de estómago



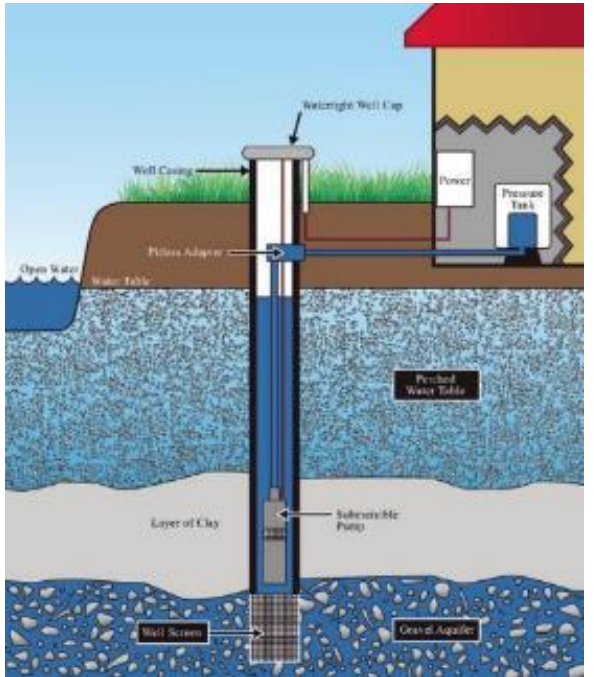


Niveles de Radón Contaminante

- Concentraciones de Rn-222 muestran variabilidad entre las formaciones geológicas intrusivas félsicas probablemente debido al promedio de Unario 238 en estas rocas

- Geología determina las concentraciones de uranio, radio, y radón en aguas subterráneas
  - Mecanismos que liberan uranio, radio, y radón al agua son diferentes debido a las diferencias en la vida media, la solubilidad y la reactividad geoquímica de estos elementos

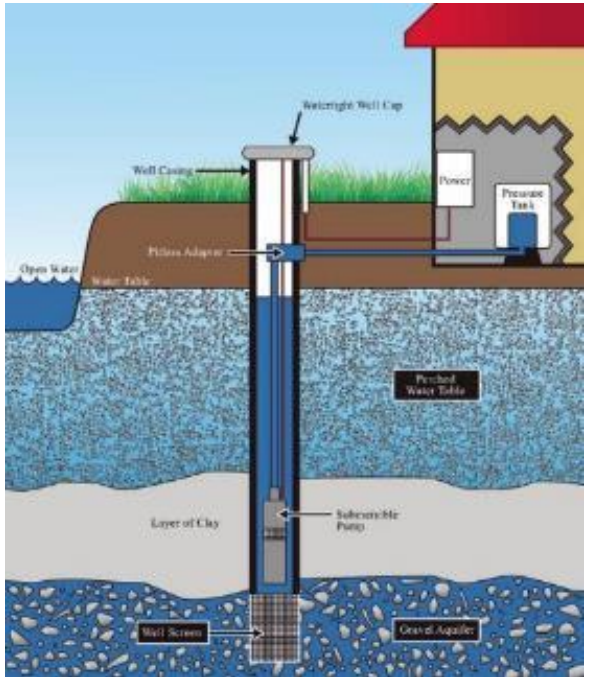




Niveles de Radón Contaminante

- Los mecanismos químicos de meteorización cercanos a la superficie podrían causar variabilidad espaciotemporal en los niveles de Radón-222 y Uranio-238 en las aguas subterráneas
- Uranio medido en agua subterránea no siempre es un sustituto óptimo para la concentración del radón en el agua - incluso áreas de roca de granito rico en uranio crean anomalías aparentes y falta de correlación



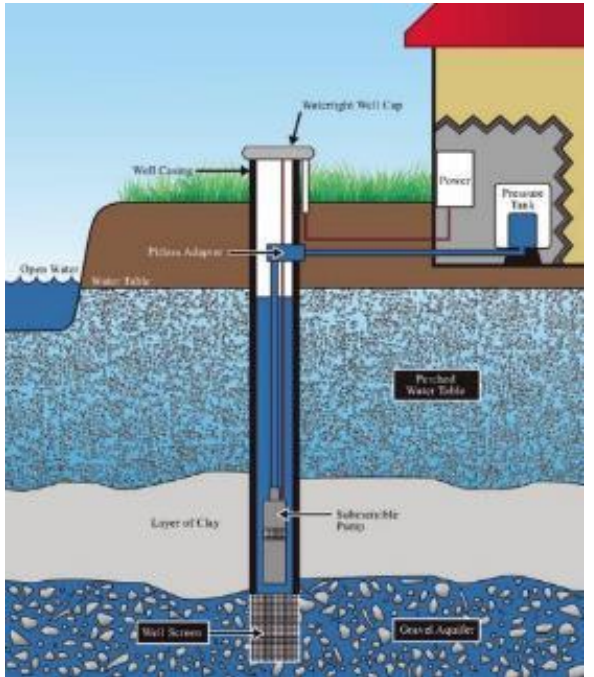


Niveles de Radón Contaminante

- El Departamento de Protección Ambiental tiene la función principal de regular los sistemas públicos de agua en Florida. La autoridad se deriva del Capítulo 403, Parte IV, de los Estatutos de Florida

- La regla estándar para el uranio en agua es de 30 microgramos por litro (30 µg/L)

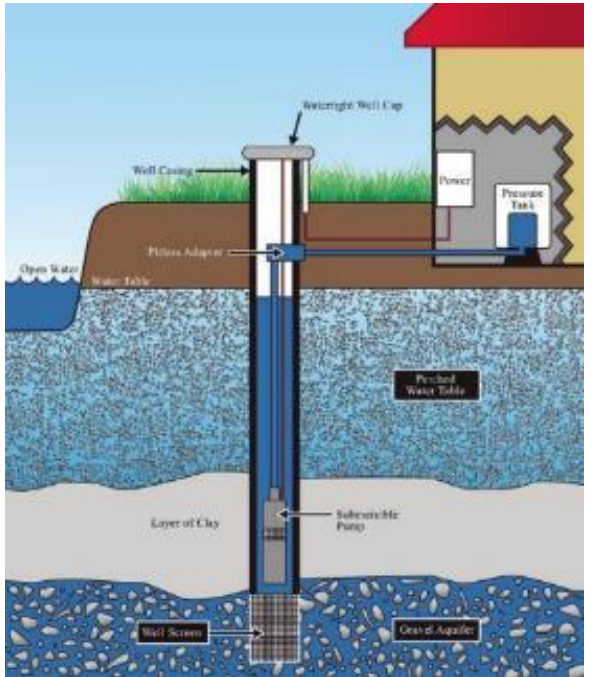




Niveles de Radón Contaminante

- El estándar para la actividad de partículas alfa bruta es de 15 pCi/L
  - El estándar para el radio no es la cantidad del químico, sino la cantidad de radiación emitida por los dos isótopos más comunes (Ra-226 t1/2 1600 años, Ra-224 - 3.66 días)
  - El estándar para el radio combinado es de 5 picoCuries por litro (5 pCi/L)

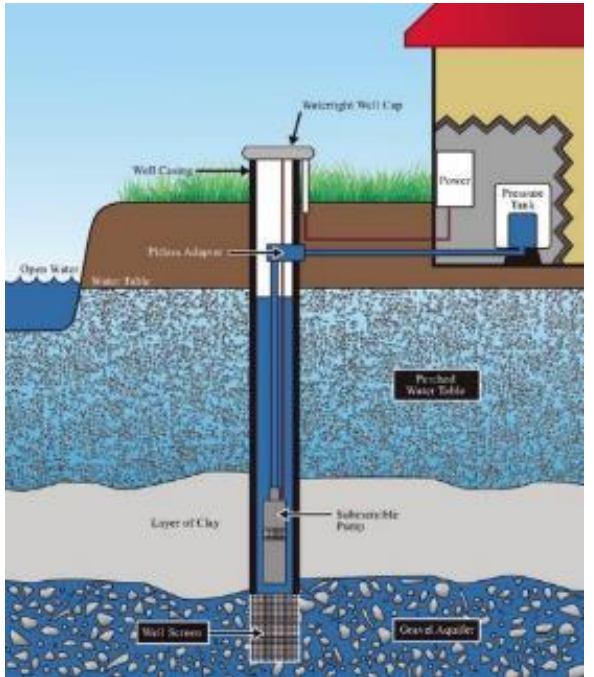




Niveles de Radón Contaminante

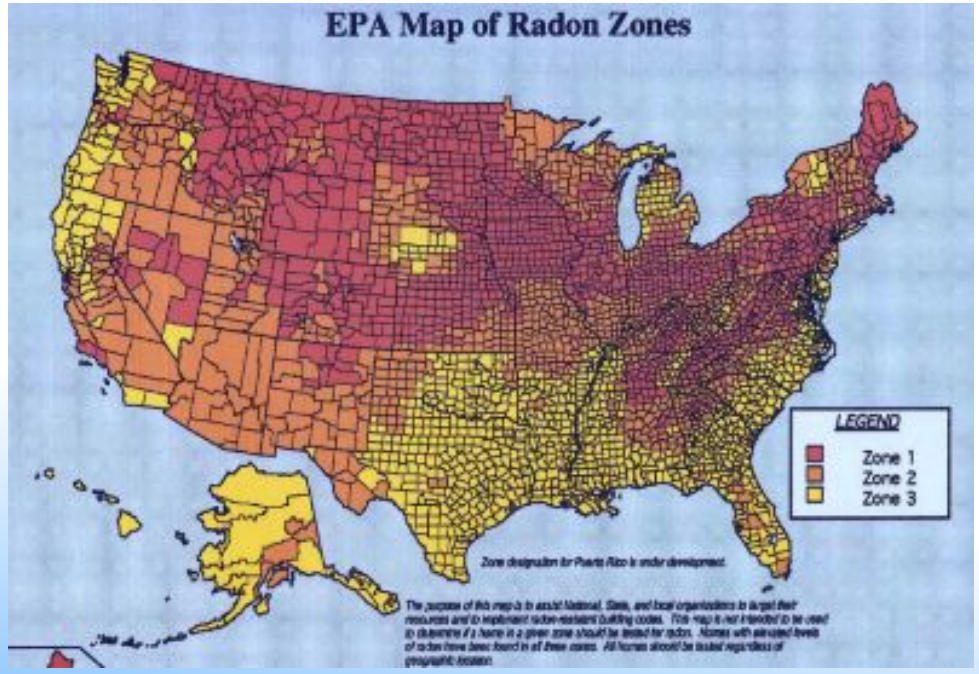
- El radón en el agua subterránea tiene una correlación positiva (R2 = 0.37) con la profundidad del pozo y la tubería de revestimiento
- El nivel medio de radón de pozos de suministros domésticos privados es 27,8 Bq/L
- En los suministros públicos de agua subterránea, el nivel medio de radón es de 11,1 – 22,2 Bq/L

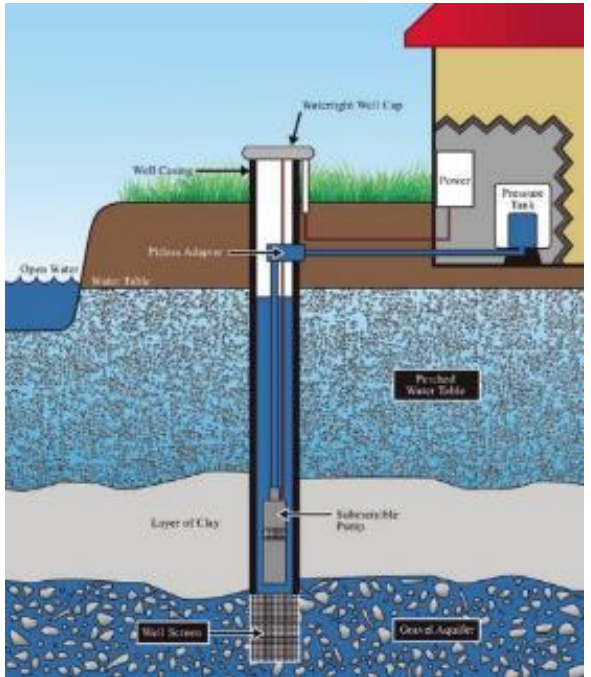




Niveles de Radón Contaminante

- > 90% de los pozos muestreados en las zonas 1 de EPA exceden el nivel máximo de contaminación propuesto de 11.1 Bq/L
- Muchos excedieron el nivel máximo de contaminante alternativo (MCL) de 4000 pCi/L (148 Bq/L)





La Concentración de Radón en el Aire y en el Agua

- Las concentraciones de radón en el agua son más altas que las concentraciones de radón en el aire
- Radón en el Agua se mide en pCi/L por litro de agua
- 10,000 pCi/L (370 Bq/L) de radón en el agua rinde 1 pCi/L (0,037 Bq/L) en el aire





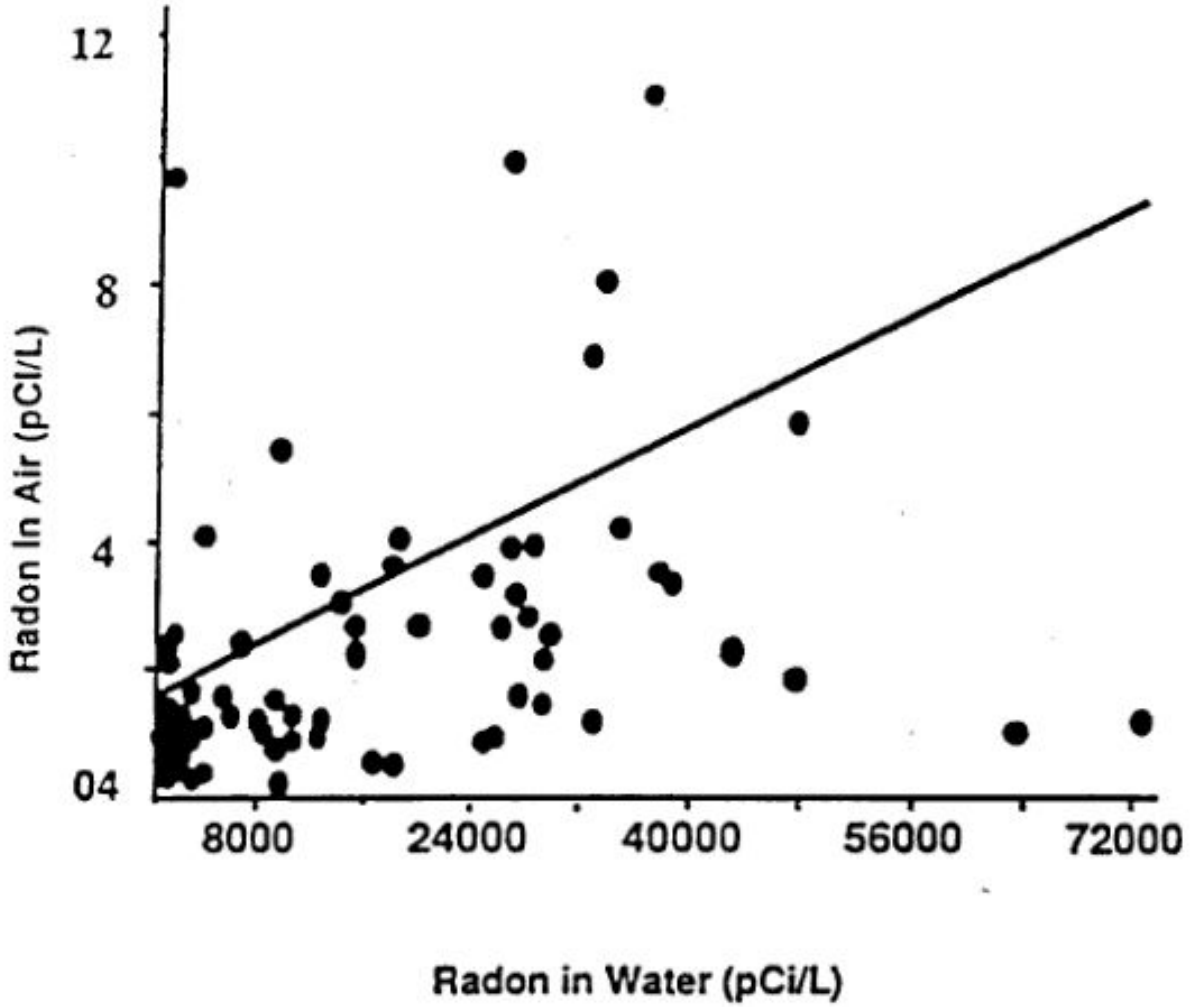
Transferencia del Radón al Agua

- La cantidad transferida del agua al aire depende en
  - Nivel de radón en el agua
  - Cantidad de agua usada
  - Tipo de actividad de uso del agua
  - Temperatura del agua y del aire





Relación del Radón in Aire y el Radón en el Agua







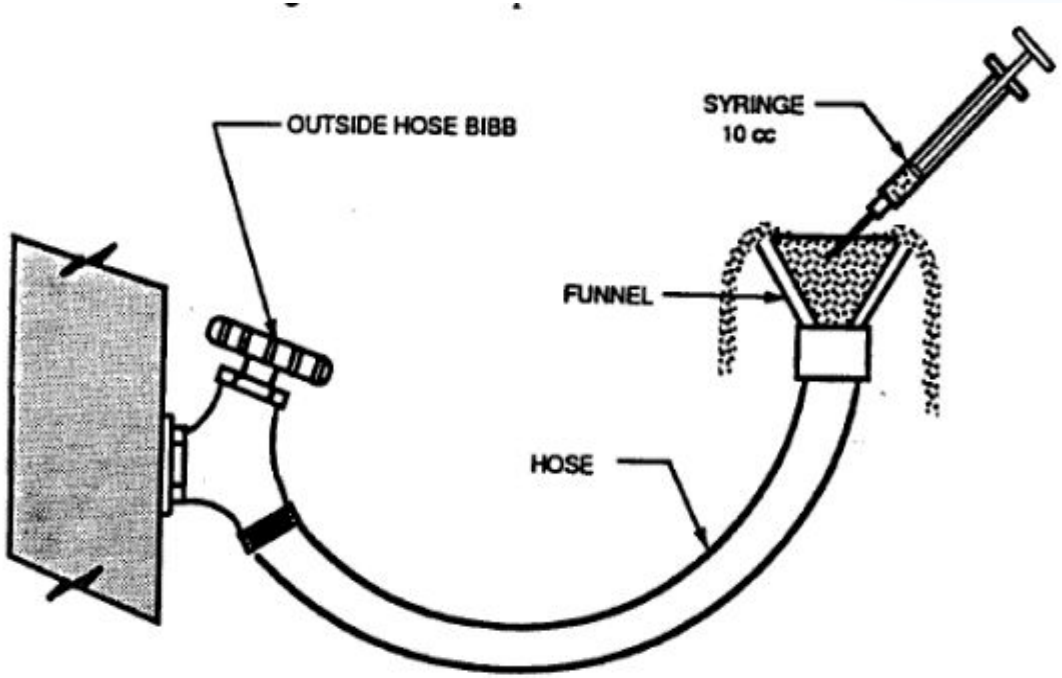
Colección de muestras

- El radón en agua de pozo comienza con análisis del agua
- El análisis debe minimizar la pérdida de radón durante la colección y el transporte
- Dos métodos de colección de muestras
  - Método usando una jeringa y aceite mineral
  - Método de purga (vaciar) el tanque de retención



Método Usando una Jeringa

- Inyectar agua en recipiente de aceite mineral
- El radón es **soluble** en **aceite**
- Líquido de centelleo emitirá **fluorescencia** proporcional a la cantidad de radón y PDR
- Contador de centelleo



Source: Burkhart

Figure 6-2. Direct Syringe Method



Pasos del Método de Jeringa

- Seleccione un punto de muestra en la casa donde el agua no pase por el calentador de agua. Haga correr el agua para asegurarse de que el agua que se tomará viene del pozo
- Conecte una manguera corta a la pluma y a un embudo. Sostenga el embudo verticalmente y abra la pluma permitiendo que el agua llene lentamente la manguera y desborde el embudo

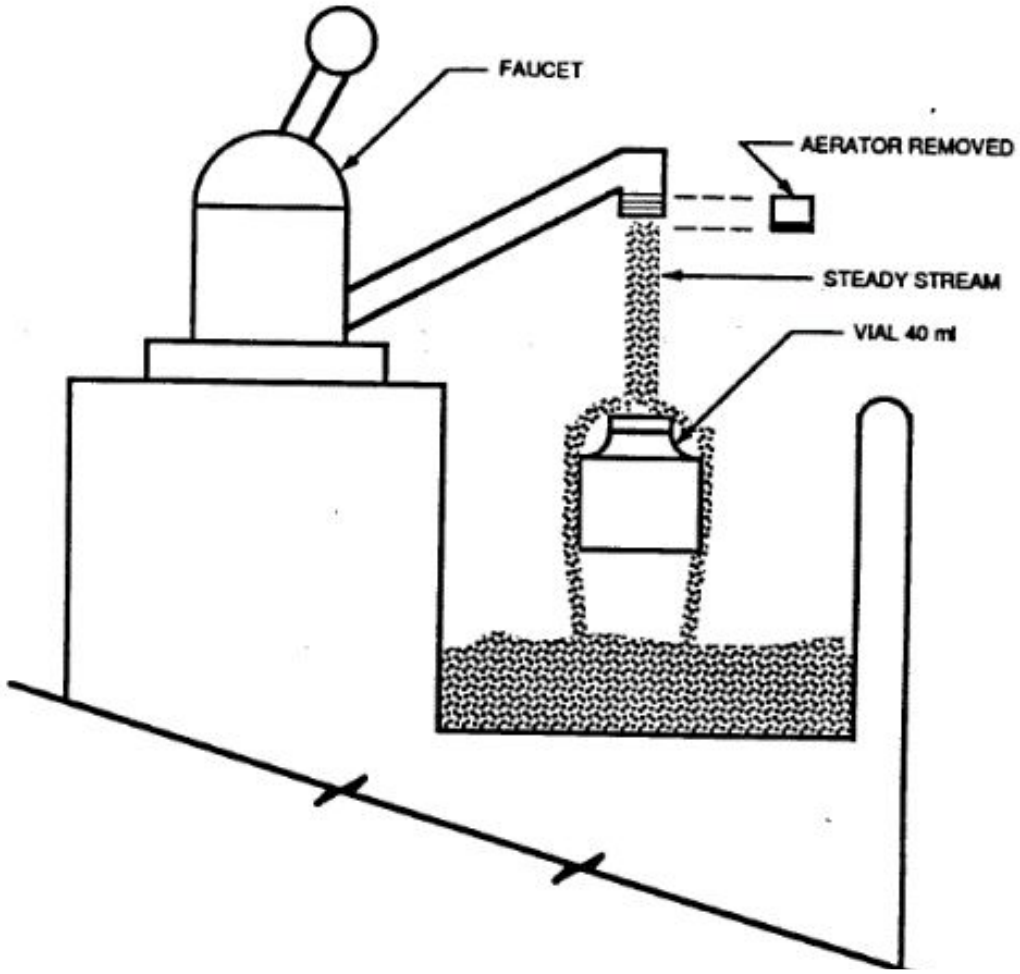


Pasos del Método de Jeringa…

- Inserte la jeringa debajo del nivel del agua en el embudo y retire lentamente 10 ml de agua
- Retire la jeringa del agua e inserte la aguja de la jeringa en el frasco de muestra pre-llenado con aceite mineral. Coloque la aguja debajo de la superficie del aceite mineral e inserte el agua en el frasco
- Registre la fecha, hora y volumen de la muestra tomada, y envíela al laboratorio



Método de Purgar el Tanque de Retención



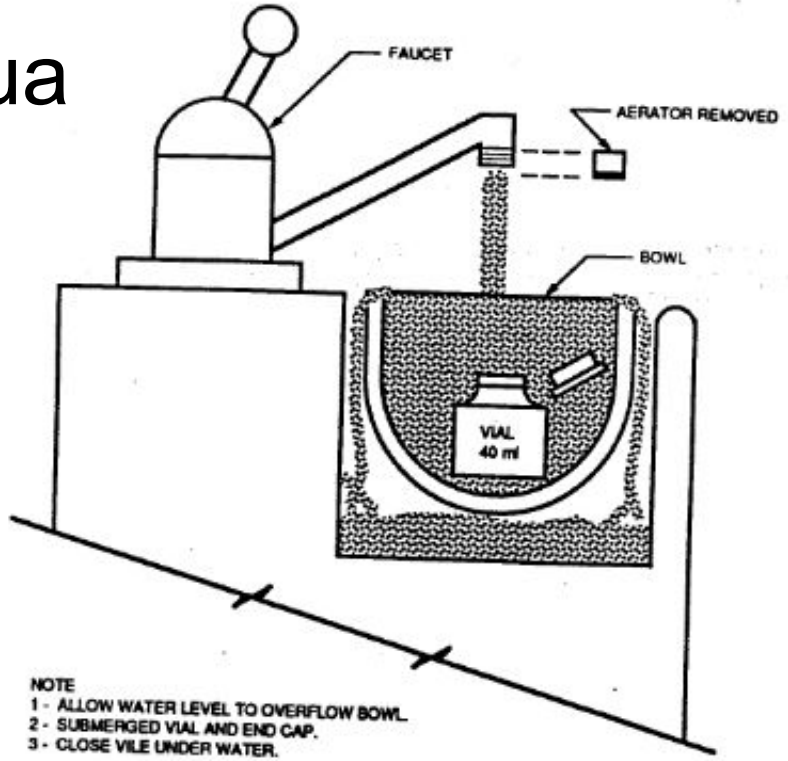
Source: Burkhart

Figure 6-3. Direct Water Sample from Faucet

- Remueve el aereador de la pluma
- Para resultados más representativos, corra el agua hasta que el tanque de retención se haya purgado por completo del agua "vieja" y se haya reemplazado con agua directamente del pozo
- Añade errores adicionales debido a la liberación de radón por las burbujas

Método de Purgar el Tanque de Retención

- Llene lentamente una vasija de vidrio de 40 ml, hasta que el agua se desborde
- Alternativamente, tome una muestra de agua en una olla, hasta que el agua se desborde
  - sumerja el frasco y la tapa, y
  - ábralo lentamente y ciérrelo bajo el agua,
  - Evite burbujas de aire



Source: Burkhart

Figure 6-4. Water Sample from Overflowing Bowl



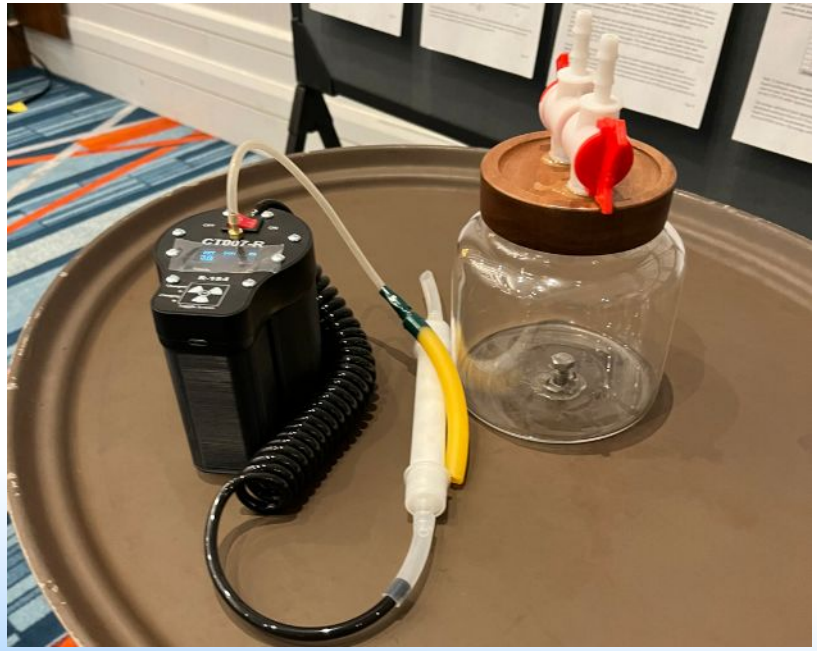
Método de Purgar el Tanque de Retención…

- Cierre el frasco immediatamente
- Escriba la fecha, hora y lugar de colección
- Envíe la muestra al laboratorio por correo. Se recomienda correo expreso de un día



Pasos de Nuevo Método…

- Utilice un detector de radón directo para obtener mediciones de radón en agua en 15 minutos
- La cámara de radón tiene una capacidad aproximada de 270 ml. El matraz de vidrio tiene un volumen de 1250 ml.

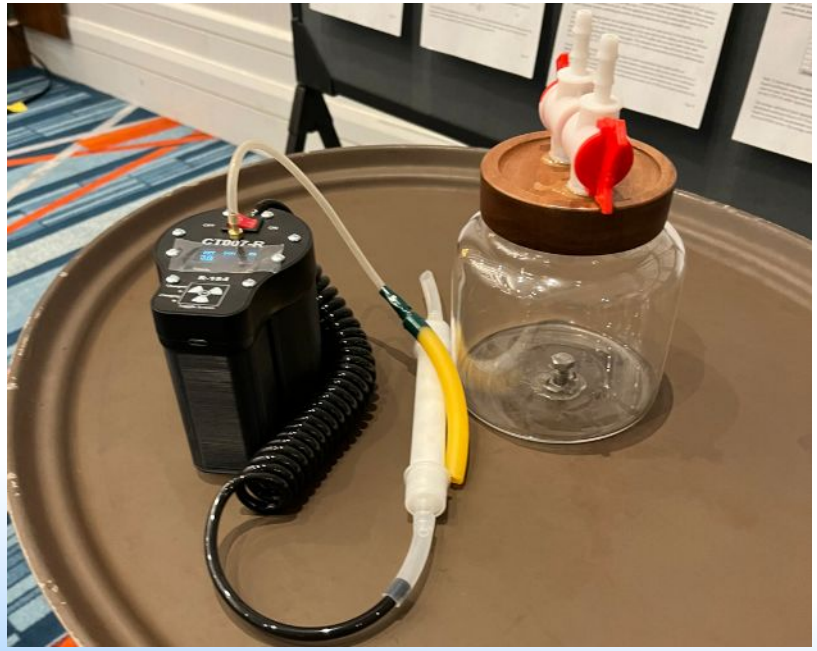






Pasos de Nuevo Método…

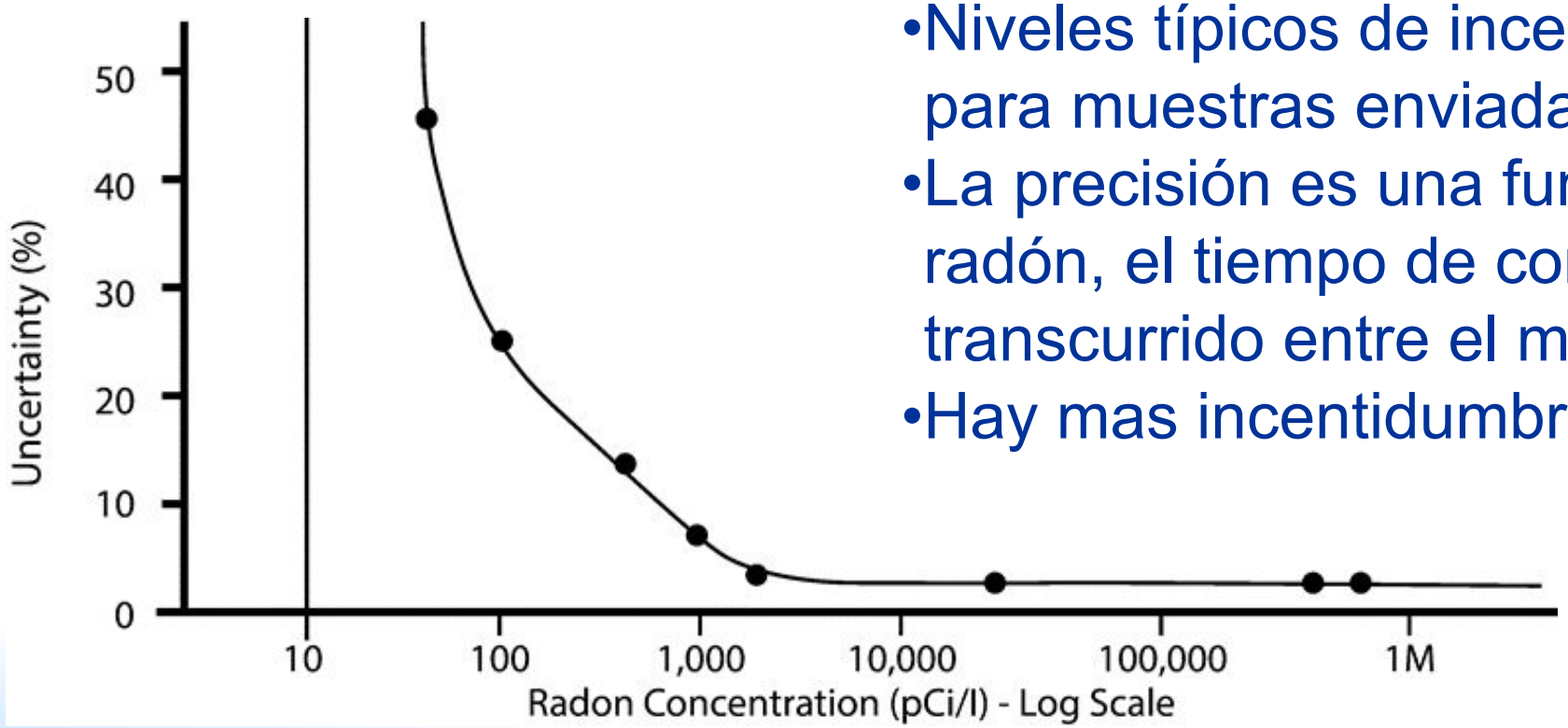
- Inserte tubo a la pluma
- Conecte a vasija de volumen fijo – no importa se desorba el gas del agua
- Mida el Rn
- Bill Broadhead







Análisis y Control de Calidad



- Niveles típicos de incertidumbre (conteo) para muestras enviadas puntualmente.
- La precisión es una función del nivel de radón, el tiempo de conteo y el tiempo transcurrido entre el muestreo y el conteo
- Hay mas incentidumbre a niveles < 10,000



Análisis y Control de Calidad…

- El radón en el agua varía de casa en casa
- Varía en tiempo corto y diariamente, estacionalmente
  - los niveles pueden cambiar por un factor de dos o tres diariamente
  - medición del radón de agua con una sola muestra es inexacto
  - Cuando una sola muestra indica un nivel alto, dos muestras adicionales tomadas en dos días diferentes, deberían dar una idea razonable del nivel promedio de radón





Análisis y Control de Calidad…

- Determine la concentración alfa bruta
- Esta medida dará una indicación de la posible presencia de radio-226 y uranio-238 o 234, y de polonio-210 en casos raros
- Aguas con niveles altos de radón tienen el Uranio y el radio elevado



Análisis y Control de Calidad…

- EPA propone regulaciones de elevar el MCL de alfa bruta de **15** (excluye radón y uranio) a **20** pCi/L (0,56 a 0,74 Bq/L)

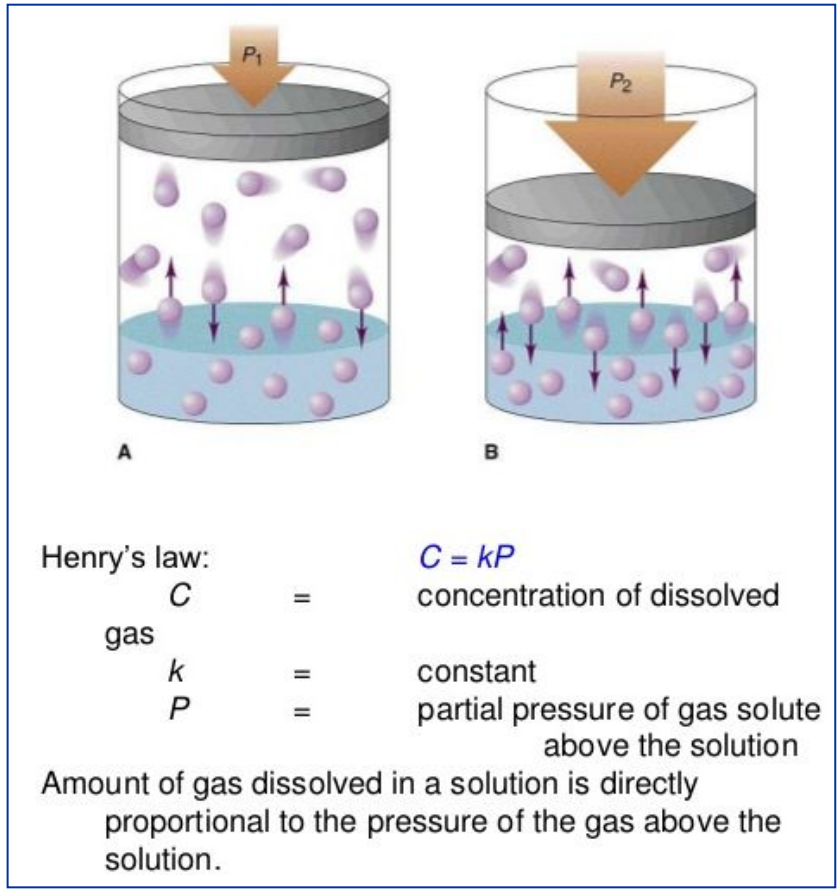
- Esta propuesta también planea un nivel de MCL separado para el radio 226 y 228 y subirlo de **5** a **20** pCi/L (0,74 Bq/L)



Constante de Henry

- La relación de distribución de un gas entre el aire y el agua se conoce como Henry's Constant
  - Constante de Henry se define como la relación entre la concentración de fase acuosa (agua) de un producto químico y su presión parcial en equilibrio en la fase gaseosa
  - El radón se transfiere fácilmente, porque su constante de Henry es relativamente alta





http://image.slidesharecdn.com/11propertiesofsolutions-120220145014-phpapp02/95/chapter-11-properties-of-solutions-15-728.jpg?cb=1329750030

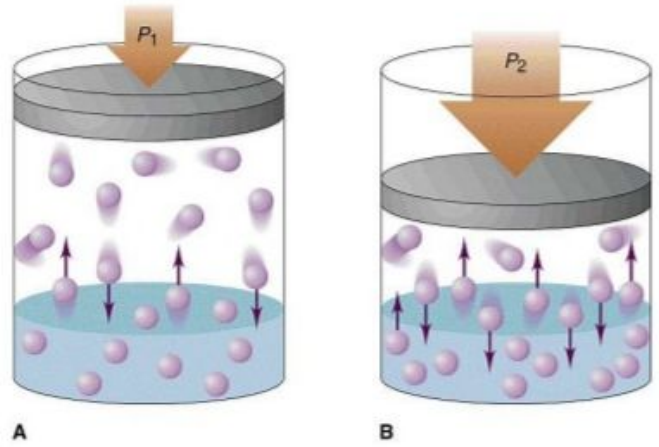
Constante de Henry…

- La exposición del agua subterránea a la atmósfera resulta en este proceso de equilibrado y la transferencia del radón del agua a el aire

- Por eso, casi todas las casas con un pozo privado tienen radón en el aire



http://image.slidesharecdn.com/11propertiesofsolutions-120220145014-phpapp02/95/chapter-11-properties-of-solutions-15-728.jpg?cb=1329750030



Henry's law: $C = kP$

C = concentration of dissolved gas

k = constant

P = partial pressure of gas solute above the solution

Amount of gas dissolved in a solution is directly proportional to the pressure of the gas above the solution.

Factores que Influyen en el Movimiento del Radón del Agua

- Concentración de radón en el agua
- La cantidad de área de superficie entre el agua y el aire
- La temperatura del agua





Determinando si el Agua es el Principal Contribuyente al Radón…

- La concentración de radón en el aire esta relacionado al **uso** del agua

- Los niveles de radón en el aire aumentarán significativamente después del uso del agua y disminuirán significativamente durante largos períodos sin uso de agua





Determinando si el Agua es el Principal Contribuyente al Radón

- En el área del baño, la relación es mas variable, debido al nivel extremo en el aire causado por el uso del agua. La cocina también puede tener niveles altos
  - Si la relación de radón agua-aire es mayor de 10,000:1, entonces el agua puede ser un gran contribuyente al radón en el aire





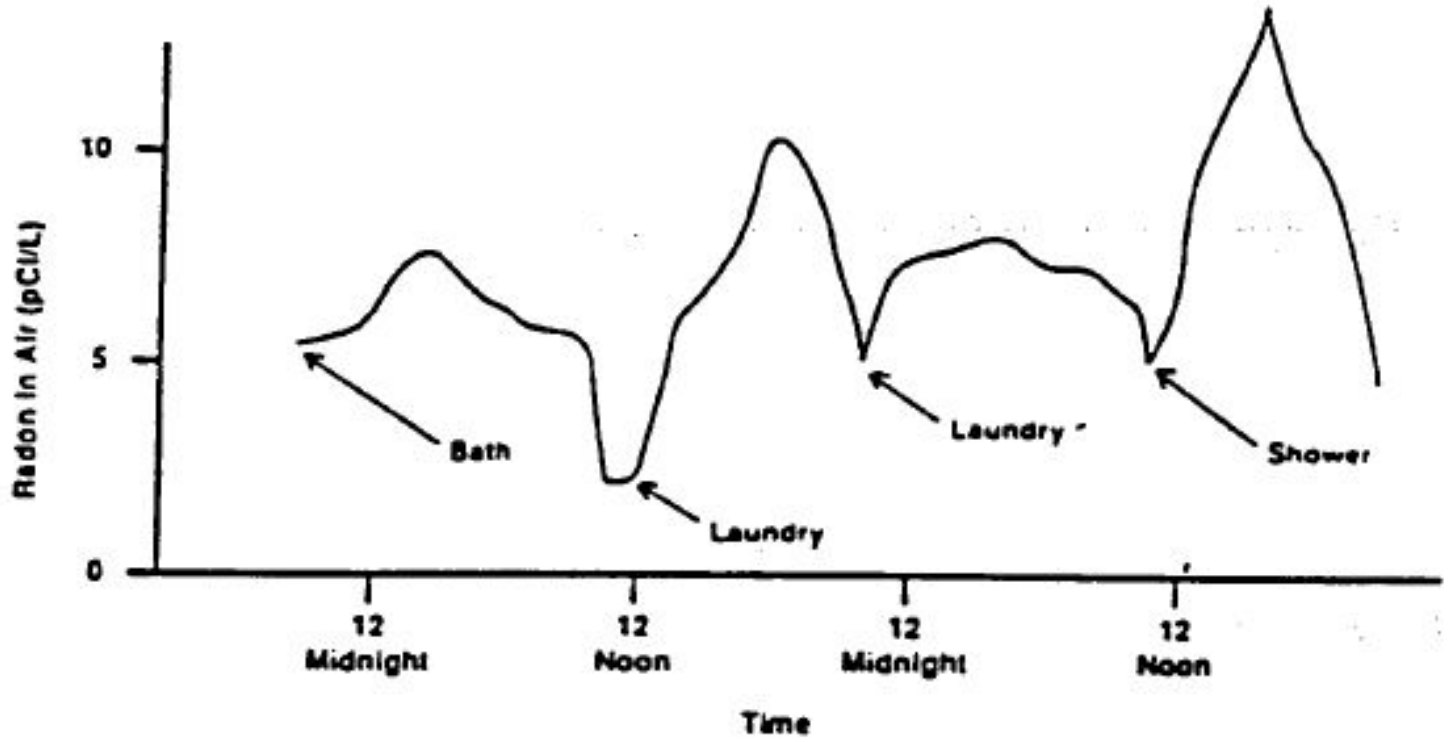
Determinando si el Agua es el Principal Contribuyente al Radón…

- Haga que los ocupantes noten su tipo de uso del agua
- Los mitigadores deben saber si las medidas de radón se realizaron mientras el hogar estaba desocupado
- Tome una muestra de absorción de radón instantánea corriendo el agua caliente y cierre la puerta del baño repita en 15 minutos



Concentración de Radón en el Aire en Relación a el Uso del Agua

- Medidas de radón echas en la sala
- Los niveles de radón serian mas altos si se midiesen en el baño





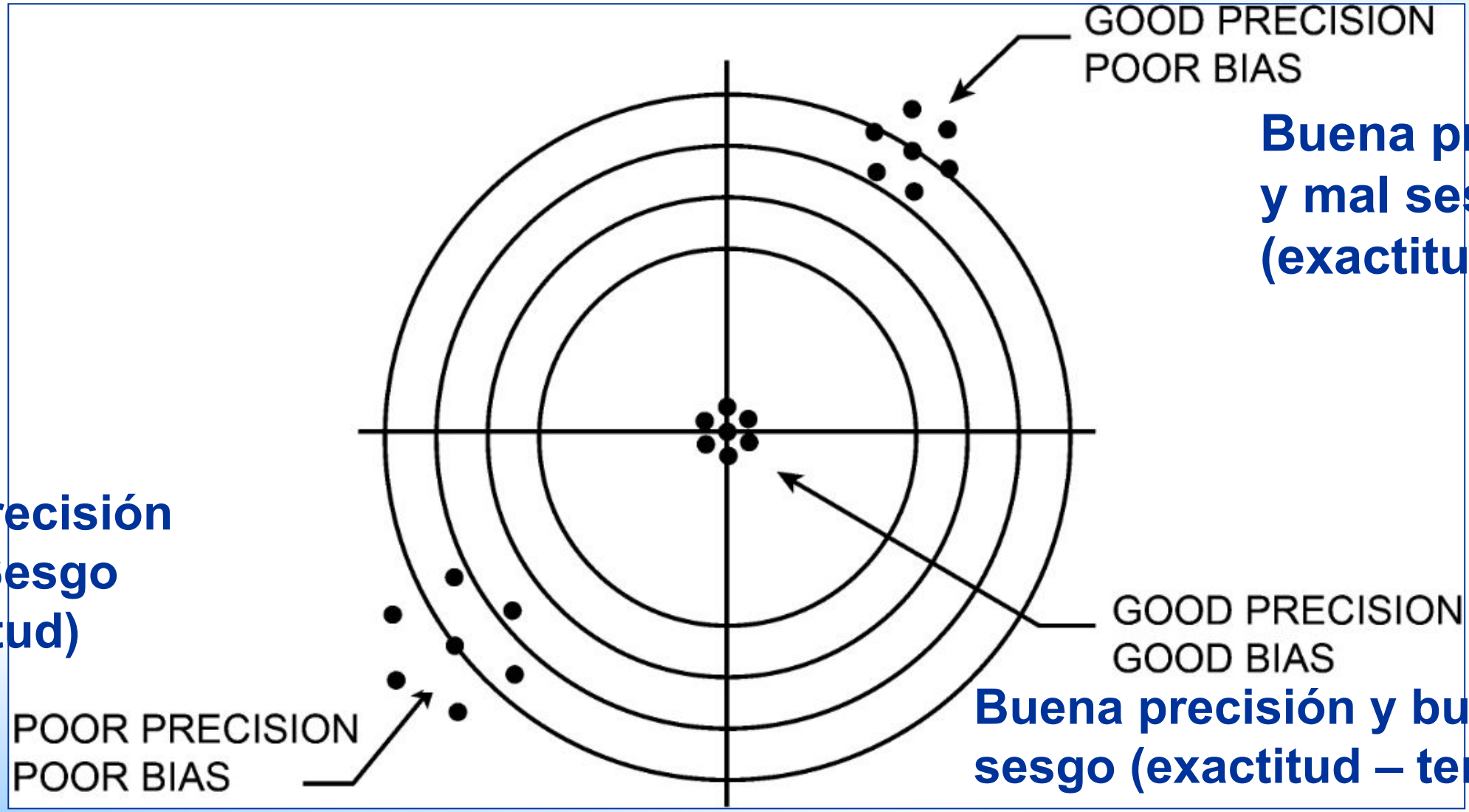
Determinando si el Agua es el Principal Contribuyente al Radón…

- Si las mediciones integradas muestran que ambos el agua y el gas del suelo son los principales contribuyentes, se necesita medir con un monitor de radón continuo

- Mida el nivel de radón de aire antes y después de usar el agua para determinar si se necesita tratamiento del agua de pozo
- Monitoree a largo tiempo



Precisión y Sesgo (exactitud)
Afectan a todos los dispositivos



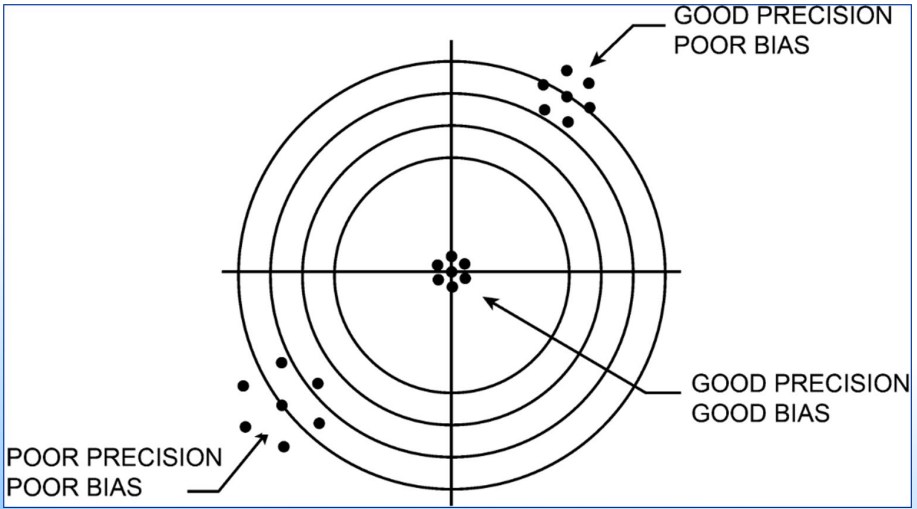
Buena precisión y mal sesgo (exactitud)

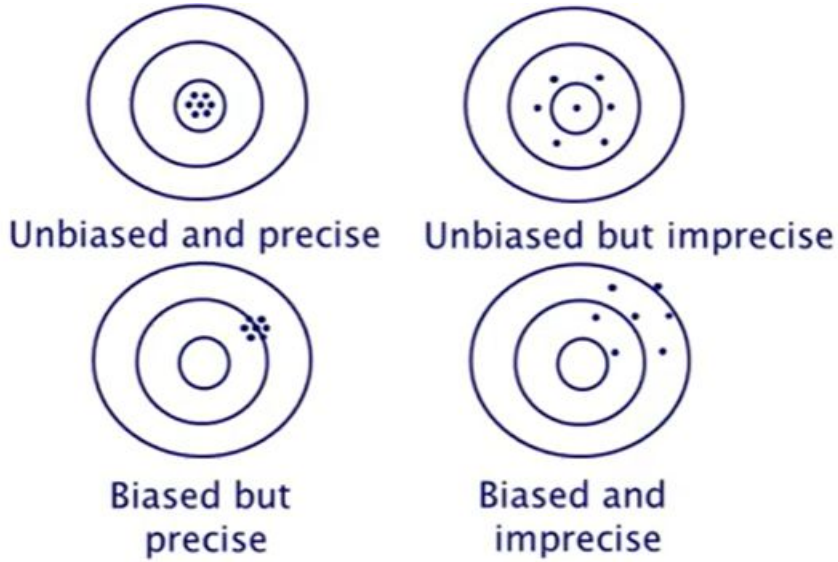
Mala precisión y mal Sesgo (exactitud)

Buena precisión y buen sesgo (exactitud – tendencia)

Precisión y Sesgo (exactitud)
Afectan a todos los dispositivos

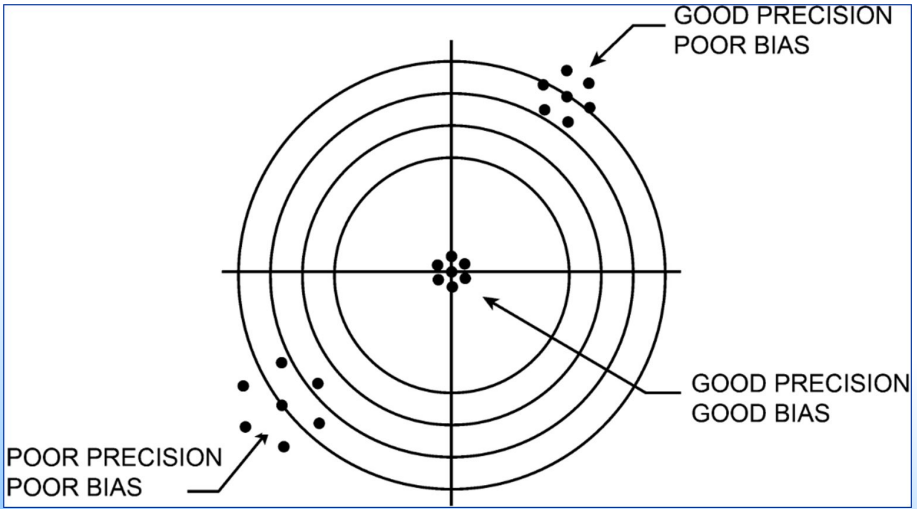
- Precisión: consistencia o repetibilidad de mediciones. Describe qué tan cerca están los resultados entre sí, sin importar si están cerca del valor real. Un sistema de medición preciso produce resultados agrupados. Ejemplo, medidas repetidas de un objeto con una regla:10.0, 10.1, 9.8 cm, medición es muy precisa.

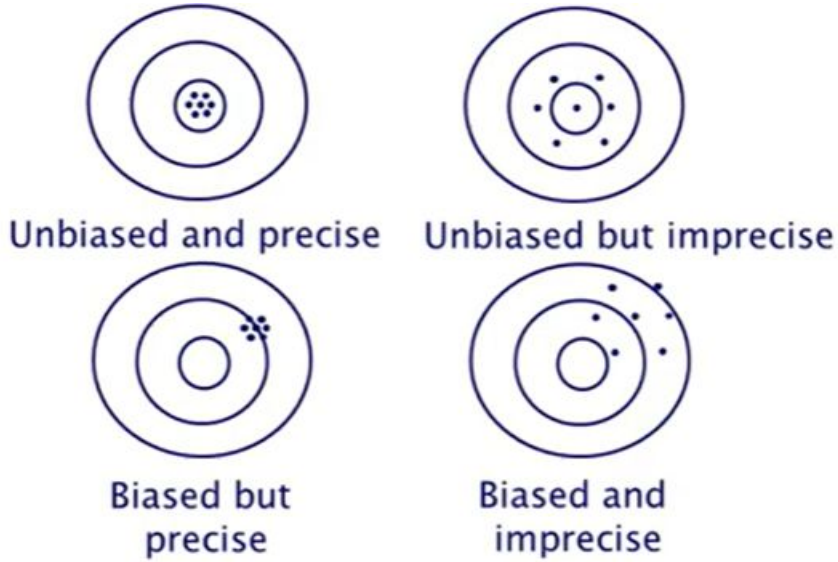




Precisión y Sesgo (exactitud)
Afectan a todos los dispositivos

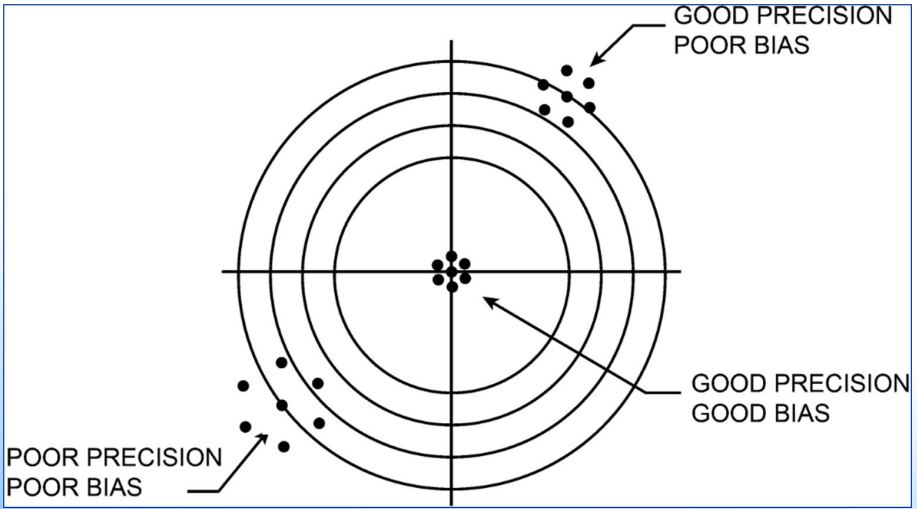
- Sesgo, error sistemático que representa la diferencia promedio y constante entre el valor medido y el valor real. Un sistema de medición sesgado subestima o sobreestima consistentemente el valor verdadero. Ejemplo, mediciones de regla mal calibrada están consistentemente 1 cm < valor real - mediciones son sesgadas, incluso si son muy precisas

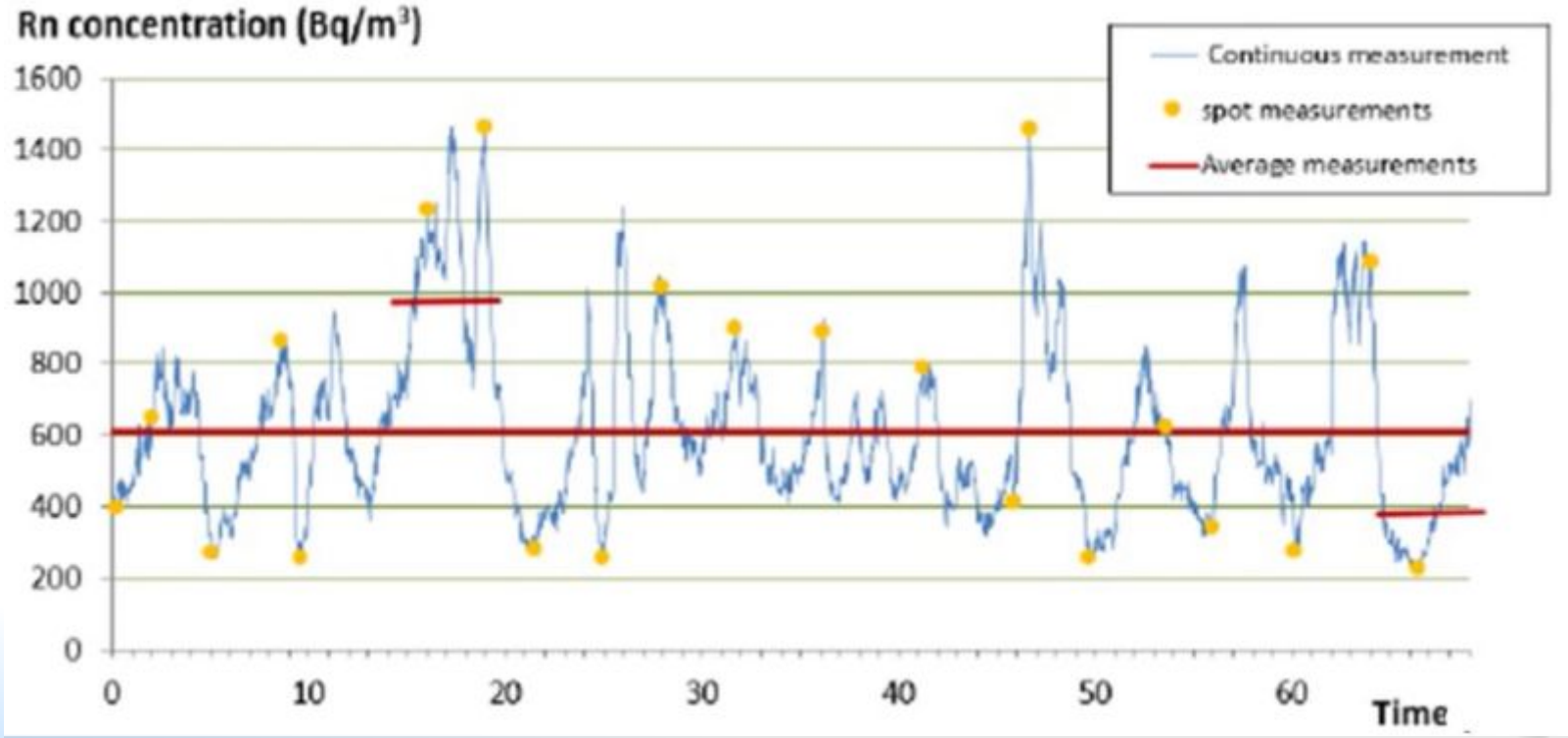




Factores que afectan a todos los dispositivos

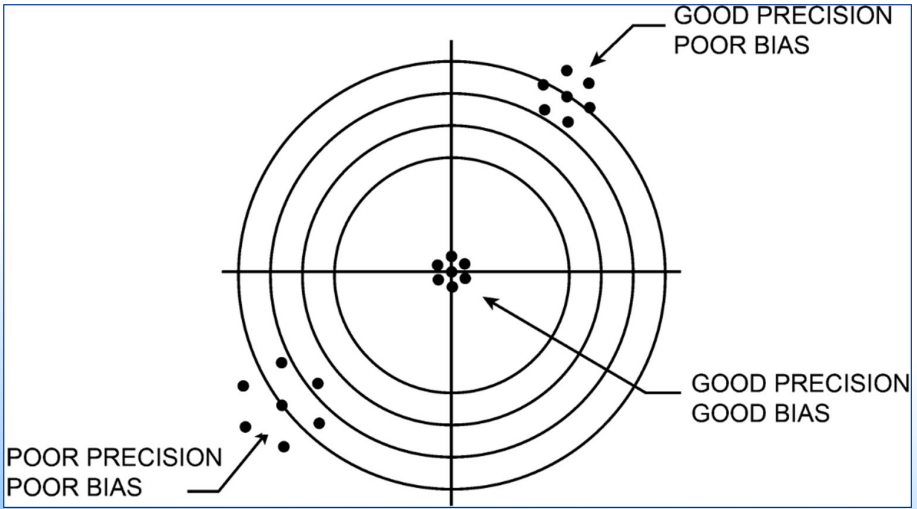
- Errores al azar son inherentes a cualquier dispositivo o procedimiento y al propio proceso de medidas
- Niveles varían lo que crea errores





Precisión y Sesgo (exactitud)
Afectan a todos los dispositivos

- La **desviación** estándar mide la dispersión de una serie con respecto a su media y es una buena medida de precisión
- Desviación estándar **baja** indica mas precisión

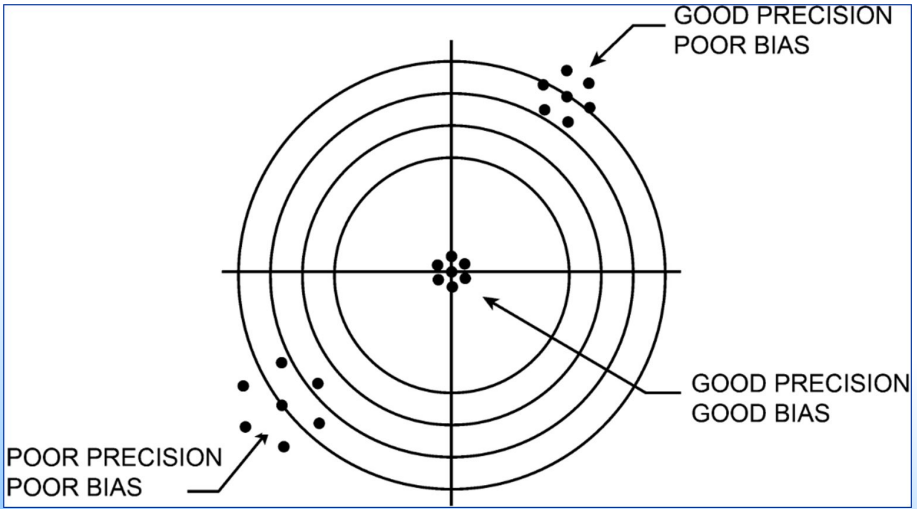


- Precisión medida de la consistencia
- Sesgo medida de la corrección promedio en relación con el valor real
- Sistema de medición ideal es preciso (consistente) y no sesgado (correcto promedio)

Precisión y Sesgo (exactitud)
Afectan a todos los dispositivos

- Coeficiente de variación (COV) derivado de la desviación estándar **=**

desviación estándar de las mediciones */* media de las mediciones

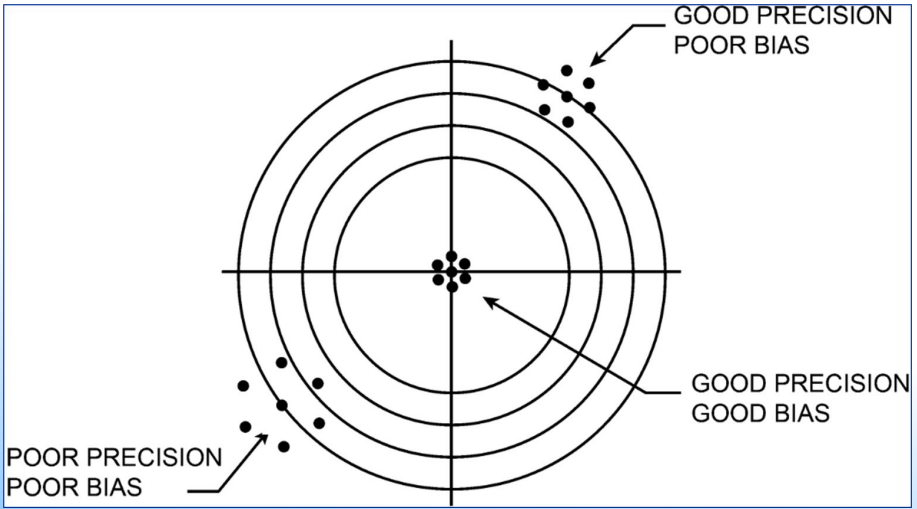


- Diferencia de porciento =

(Lectura #1- Lectura #2) */* Promedio de Lectura #1 y Lectura #2

Precisión y Sesgo (exactitud)
Afectan a todos los dispositivos

- Mantenga la casa cerrada para estabilizar las condiciones de muestreo
- Realize múltiples mediciones para identificar errores del usuario



- Aumente la duración de las pruebas
- Monitoreo Proceso de observación constante a largo plazo

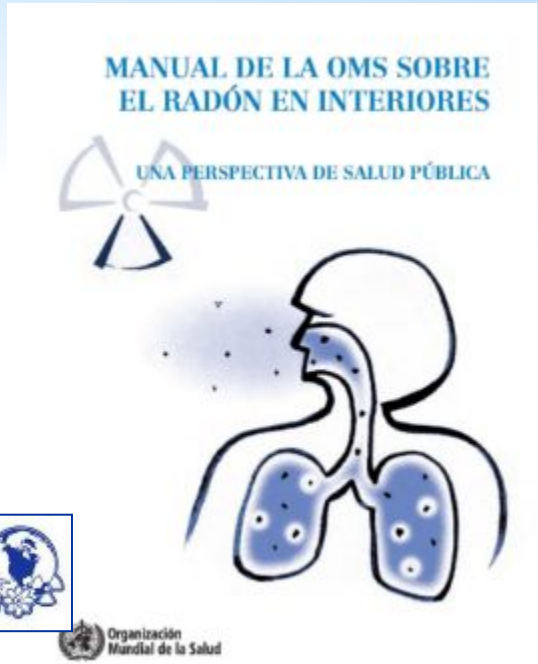
Conclusiones

- El suelo es la fuente del radón se origina en el suelo y las rocas. Medir los niveles en el suelo se usa para determinar el riesgo potencial y diseñar estrategias de mitigación
- El aire interior es el principal punto de exposición al radón cual se acumula en espacios cerrados como sótanos y viviendas
- El radón en el agua es más común en los pozos privados que extraen directamente de acuíferos subterráneos

Conclusiones

- Monitoreo Proceso crucial de observación constante de una variable o un conjunto de variables a lo largo del tiempo
- Exposición prolongada al radón y los PDRs - segunda causa principal de cáncer de pulmón, y primera para los no fumadores
- Monitoreo y la mitigación del radón y PDR en el agua, aire y suelo protegen la salud, y pueden aumentar el valor de una propiedad y son requisitos en la construcción y las ventas de viviendas en algunos lugares

Un problema de salud pública



HEALTH EFFECTS OF EXPOSURE TO LOW LEVELS OF IONIZING RADIATION BEIR V

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

World Health Organization

AMA AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION

NCRP National Council on Radiation Protection & Measurements

AMERICAN LUNG ASSOCIATION.

U.S Department of Health & Human Services
Office of the Surgeon General

OIEA

Organización Mundial de la Salud

Cancer causado por descendientes de radón ha sido bien establecido por la comunidad científica. **Nuestra acción es eminente.**

Contacto

Jorge Laguna, Físico de Salud
Oficina de Control de Radiación de Florida
http://radon.floridahealth.gov
Jorge.Laguna@FlHealth.Gov
850-245-4397

Módulo III. Metrología y calibración del radón

Tema 1. Metrología del radón, magnitudes y unidades

Dr. Daniel Rábago (daniel.rabago@unican.es)

LaRUC Laboratorio de Radiactividad Ambiental | Universidad de Cantabria

UC | Universidad de Cantabria

Metrología

Ciencia de la medición, que abarca la definición, realización, diseminación y trazabilidad de las unidades de medida

- Se definen el SI de unidades
- Se crean patrones nacionales de acuerdo con el SI



Metrología

Calibración:

Determinar la respuesta o lectura de un instrumento en relación con una serie de valores conocidos en el rango del instrumento; los resultados se utilizan para desarrollar factores de corrección o calibración.

Factor de calibración:

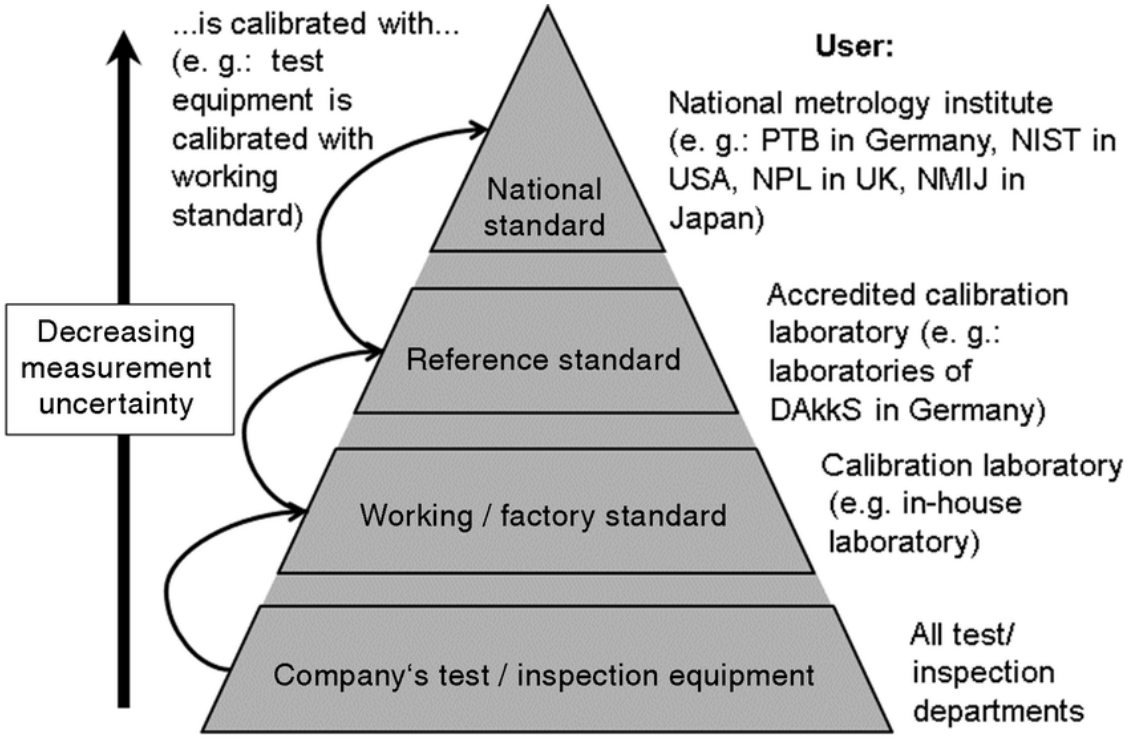
Cociente del valor indicado de un instrumento de medida y el verdadero de una magnitud para una radiación de referencia especificada en condiciones de referencia especificadas.



Metrología

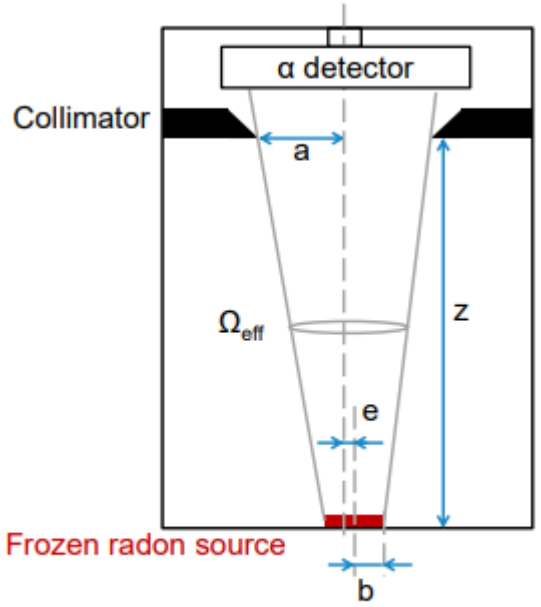
- Las calibraciones realizadas en la instalación deberán ser metrológicamente trazables a un patrón de referencia primario nacional o internacional.

- Según su posición en la cadena de trazabilidad metrológica, una instalación se clasifica como de Laboratorio Nacional, Lab. Secundario, Lab. Terciario, Industrial.

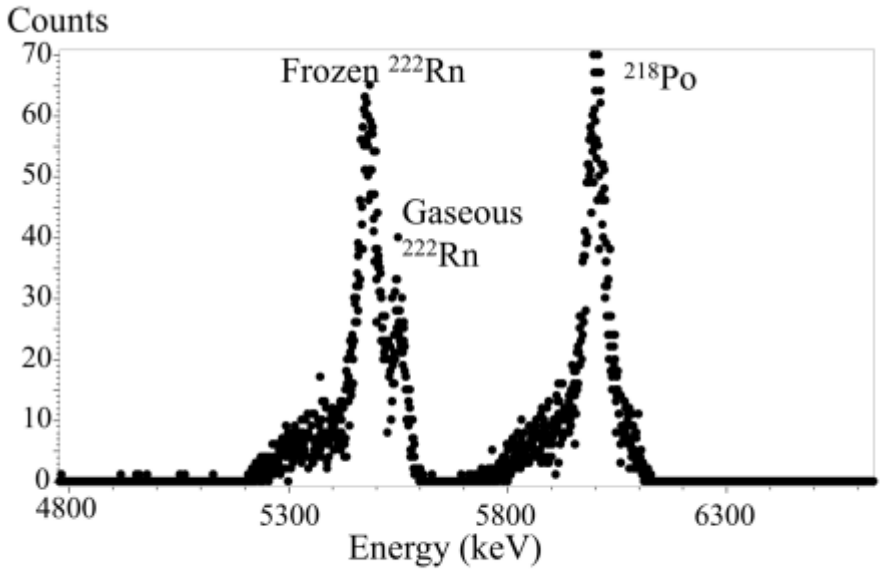


Metrología del radón

Laboratorios Nacionales de Metrología (LNM): Proporciona una fuente primaria ^{222}Rn con una actividad certificada.



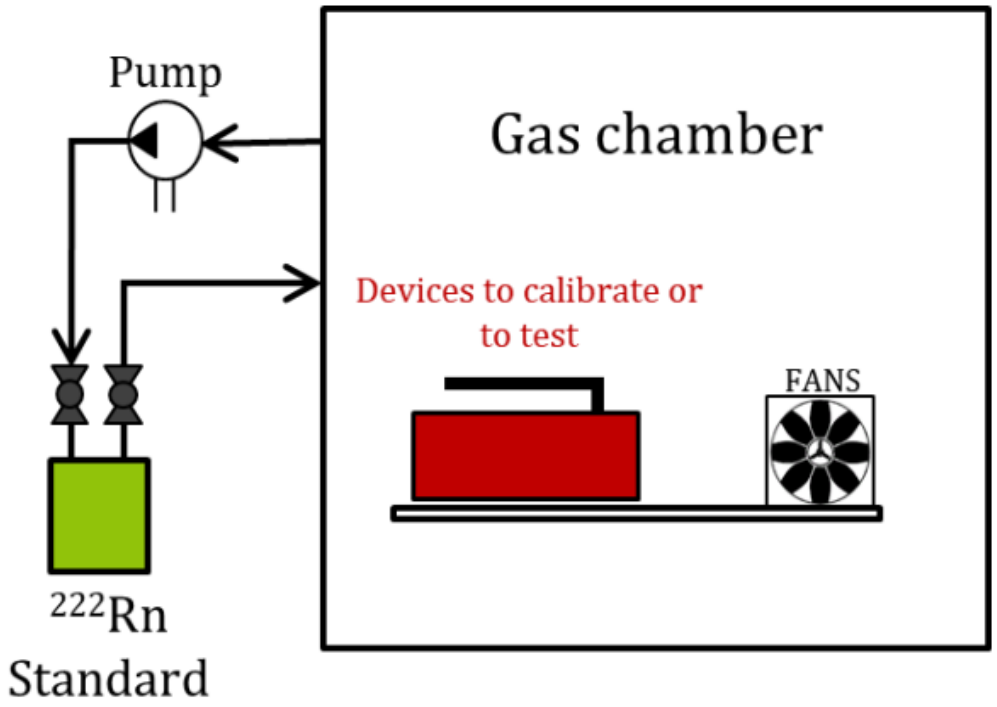
Defined solid angle parameters



Example of spectrum with the cold finger at 100 K, a second peak starts to appear.

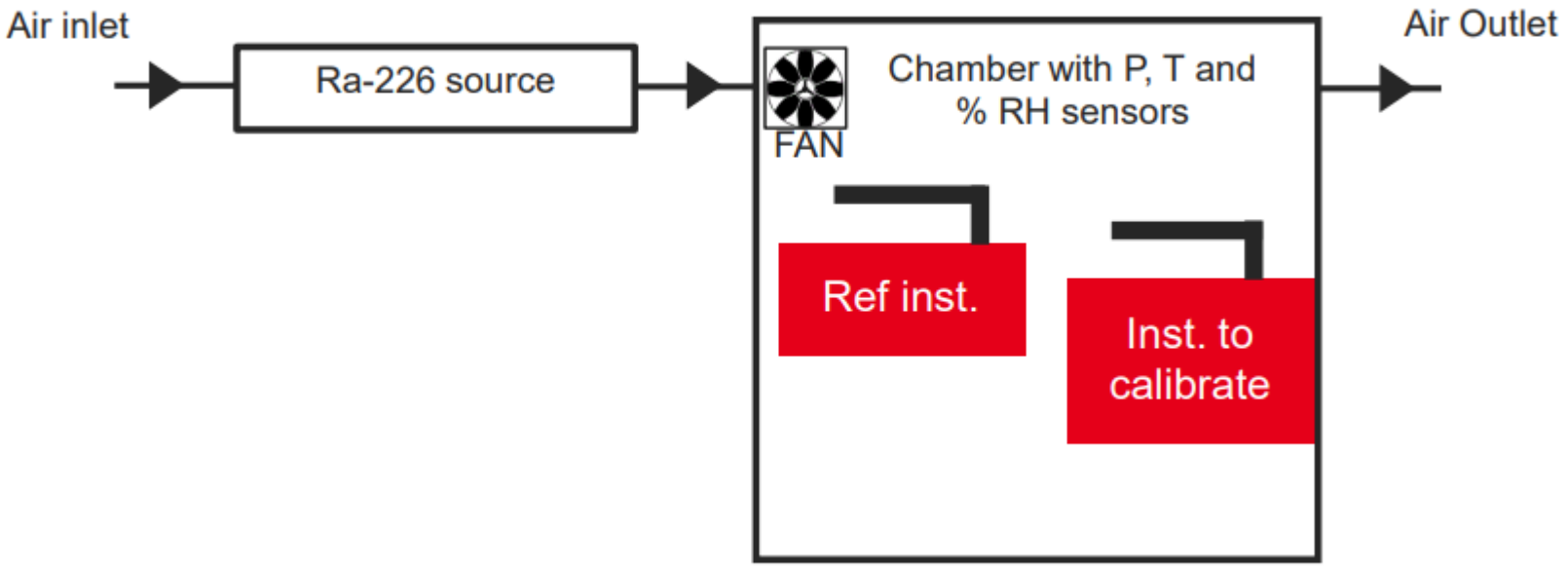
Metrología del radón

Laboratorio secundario: Produce una concentración de actividad de Rn conocida mezclando la actividad certificada de Rn con un volumen de aire especificado.



Metrología del radón

Laboratorio Terciario: Produce una atmósfera de Rn cuya concentración de actividad se remonta directamente a un patrón de referencia secundario. La trazabilidad metrológica se establecerá entre una instalación de referencia secundaria y las instalaciones terciarias mediante patrones de transferencia de instrumentos de medición de Rn.



IEC 61577: Radiation protection instrumentation - Radon and radon decay product measuring instruments

Part 1: General principles

Part 2: Specific requirements for 222Rn and 220Rn measuring instruments

Part 3: Specific requirements for radon decay product measuring instruments

Part 4: Equipment for the production of reference atmospheres containing radon isotopes and their decay products (STAR)

Part 5: General properties of radon and radon decay products and their measurement methods

Metrología del radón

ISO 11665: Measurement of radioactivity in the environment-Air: radon-222

Part 1: Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods

Part 2: Integrated measurement method for determining average potential alpha energy concentration of its short-lived decay products

Part 3: Spot measurement method of the potential alpha energy concentration of its short-lived decay products

Part 4: Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis

Part 5: Continuous measurement methods of the activity concentration

Part 6: Spot measurement methods of the activity concentration

Part 7: Accumulation method for estimating surface exhalation rate

ISO 11665: Measurement of radioactivity in the environment-Air: radon-222

Part 8: Methodologies for initial and additional investigations in buildings

Part 9: Test methods for exhalation rate of building materials

Part 10: Determination of the diffusion coefficient in waterproof materials using activity concentration measurement

Part 11: Test method for soil gas with sampling at depth

Part 12: Determination of the diffusion coefficient in waterproof materials: membrane one-side activity concentration measurement method

Part 13: Determination of the diffusion coefficient in waterproof materials: membrane two-side activity concentration test method

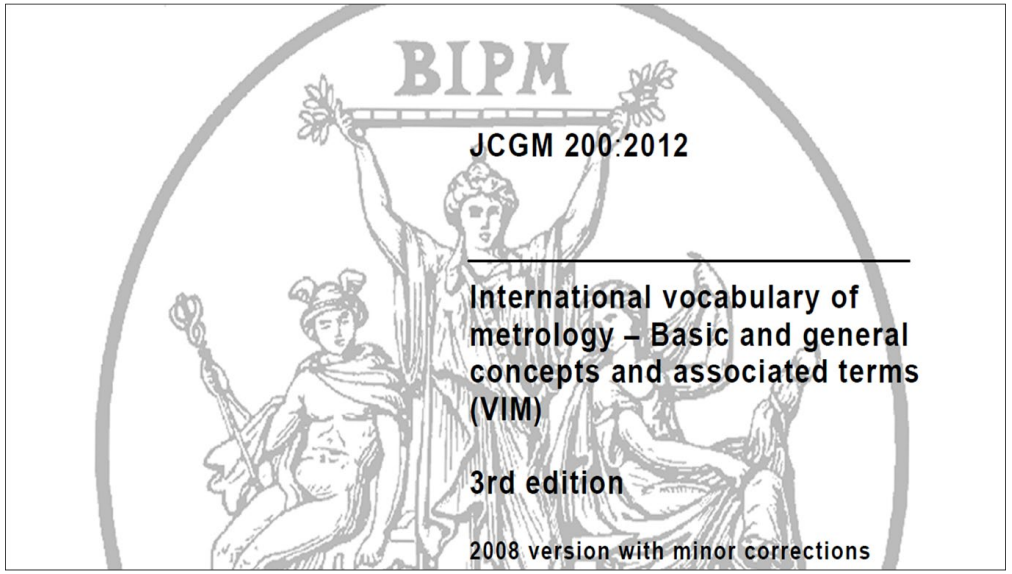
Metrología del radón

Uncertainty (ISO/IEC Guide 99)

Parameter characterizing the dispersion of the values being attributed to a measurand, based on the information used

The Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement(GUM)

Provides general rules for evaluating and expressing uncertainty in measurement.



VIM: International Vocabulary of Metrology

JCGM 200:2012

International Vocabulary of Metrology - Basic and general concepts and associated terms (2012)

Metrología del radón

Evaluación de resultados:



ISO 5725-1:2023

Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 1: General principles and definitions

Robustez:

Mide el grado de invariabilidad de alguna característica a través de alguna clase de entidades (entradas/parámetros/variaciones de estructura).

Repetibilidad:

Precisión en condiciones de repetibilidad: Condiciones en las que se obtienen resultados independientes, con el mismo método, en muestras idénticas, en el mismo laboratorio, por el mismo operario, utilizando el mismo equipo de medición, en un intervalo corto de tiempo

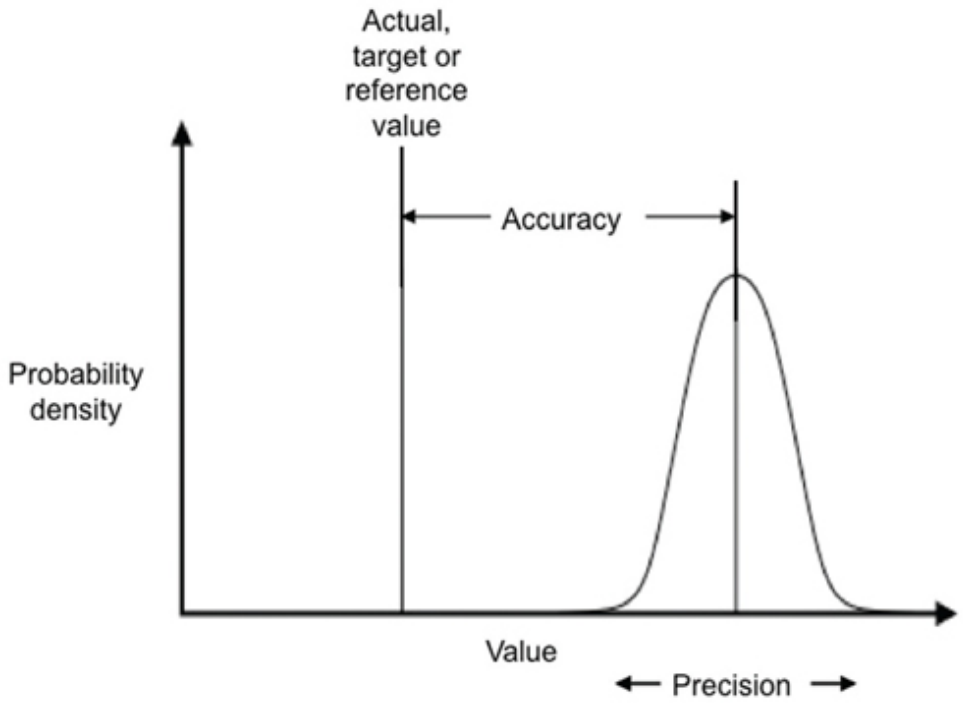
Reproducibilidad:

Exactitud en condiciones de reproducibilidad: Condiciones en las que se obtienen resultados con el mismo método, en muestras idénticas, en laboratorios diferentes, con operarios diferentes y utilizando equipos diferentes.

Metrología del radón

Mediciones duplicadas:

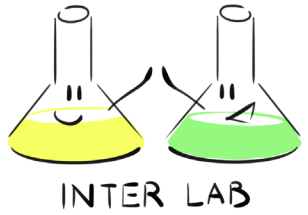
Dos mediciones realizadas simultáneamente y en el mismo lugar con instrumentos o dispositivos idénticos, o una al lado de la otra. Se utilizan para evaluar la precisión del método de medición



Aseguramiento de la calidad

- **Medida de Fondo**

Mediciones realizadas con instrumentos activos expuestos a un gas libre de radón, como aire envejecido o nitrógeno, o para detectores pasivos analizando detectores no expuestos. Valor a restar en condiciones de campo.



- **Participación en intercomparaciones**

Organización, realización y evaluación de mediciones o ensayos sobre elementos iguales o similares por parte de dos o más laboratorios de acuerdo con condiciones predeterminadas.

Magnitudes y Unidades

❑ **Actividad *A*:**

Número de desintegraciones nucleares espontáneas por unidad de tiempo.

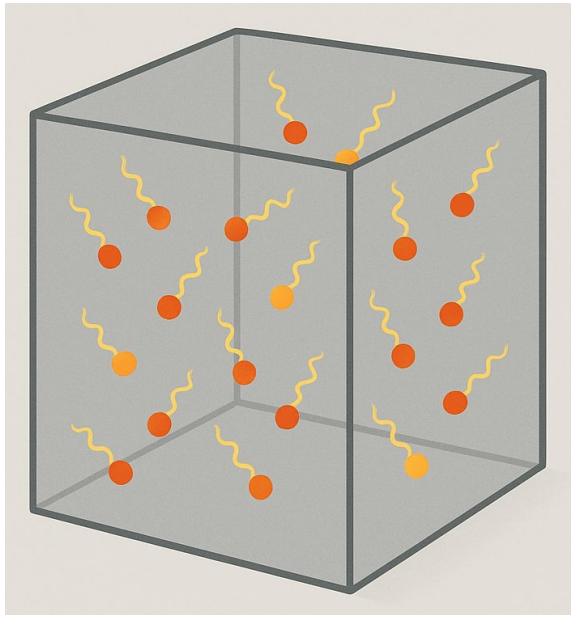
SI: Bequerelio Bq = 1 desintegración/s

❑ **Concentración de Actividad *C*:**

Actividad por unidad de volumen

SI: Bq/m^3

Otros: pCi/L; Bq/L (agua)



***C* (Bq/m³)**

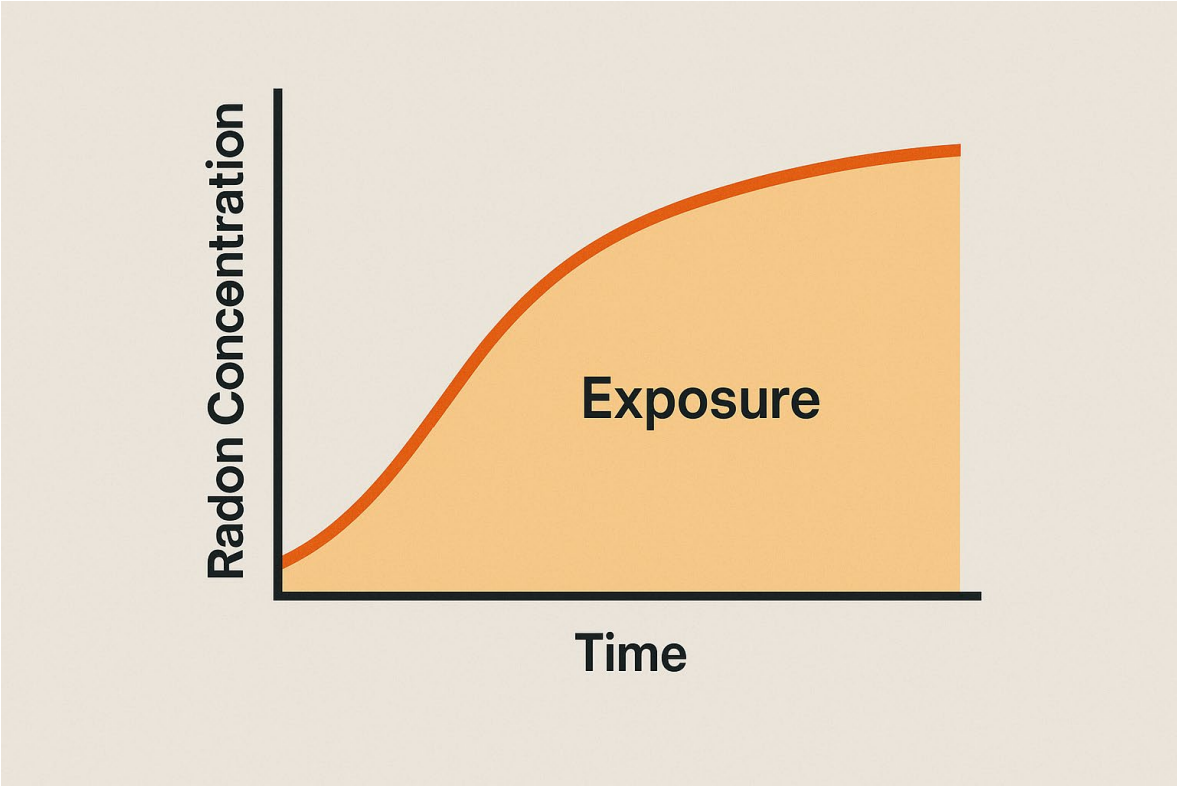
Magnitudes y Unidades

❑ **Exposición *E*:**

Actividad por unidad de volumen integrado en el tiempo

Unidad SI: Bq · s/m^3

Otros: **kBq · h/m^3**



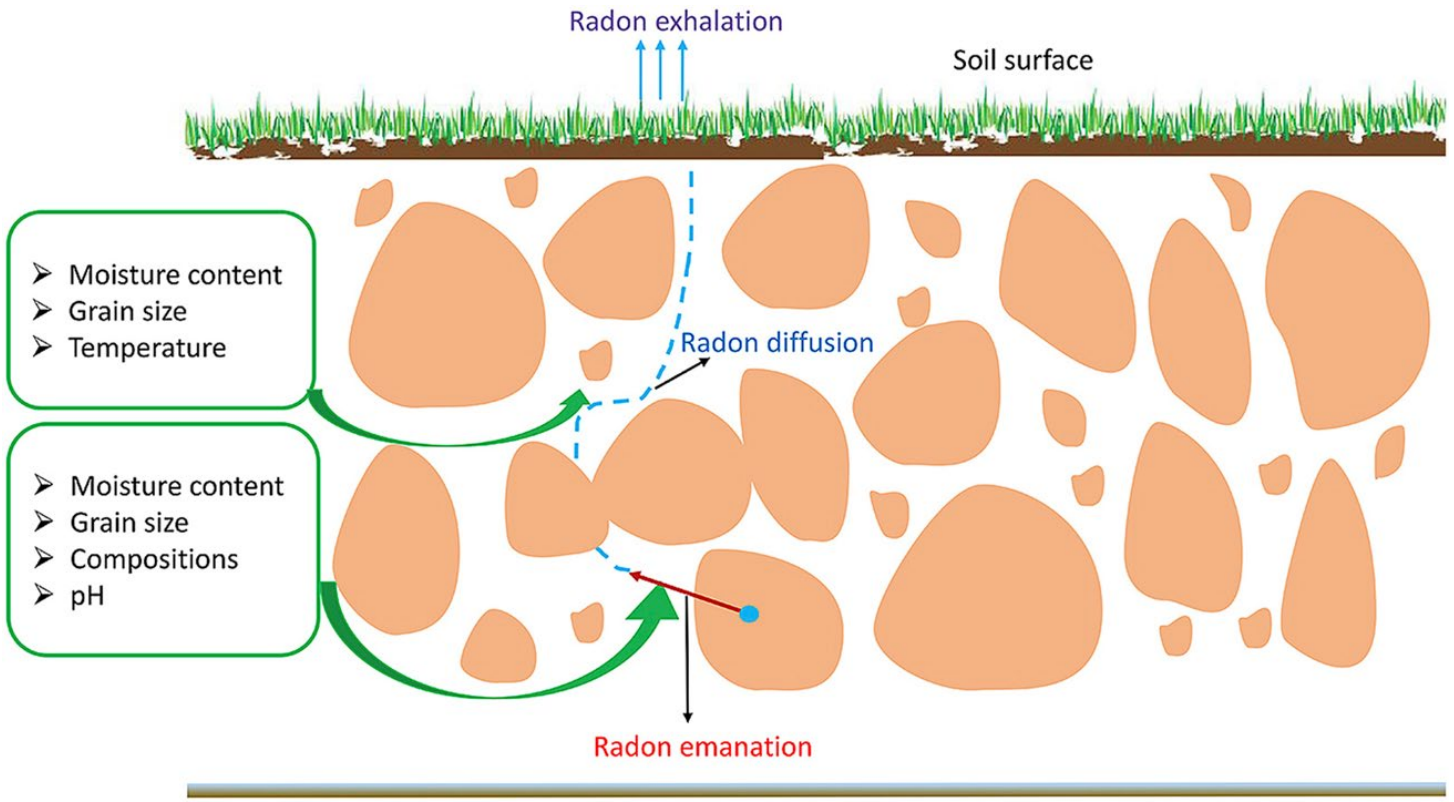
Magnitudes y Unidades

- **Exhalación o flujo de radón *J*:**

Actividad por unidad de superficie y unidad de tiempo

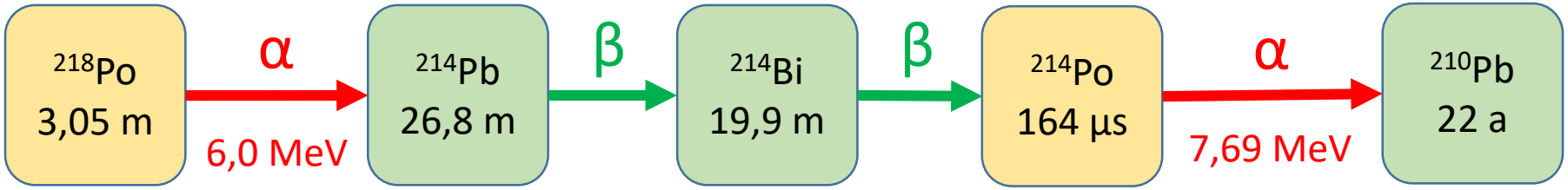
Unidad SI: $Bq \cdot m^{-2}\ s^{-1}$

Otros: $Bq \cdot m^{-2}\ h^{-1}$



Magnitudes y Unidades

Energía potencial alfa (PAE): es la energía alfa total emitida en la desintegración de los descendientes de vida corta del radón en su cadena de desintegración hasta llegar al ^{210}Po



1 átomo de ^{218}Po → Emite su partícula alfa (6 MeV) y al llegar al ^{210}Pb la correspondiente al ^{214}Po (7,69 MeV)

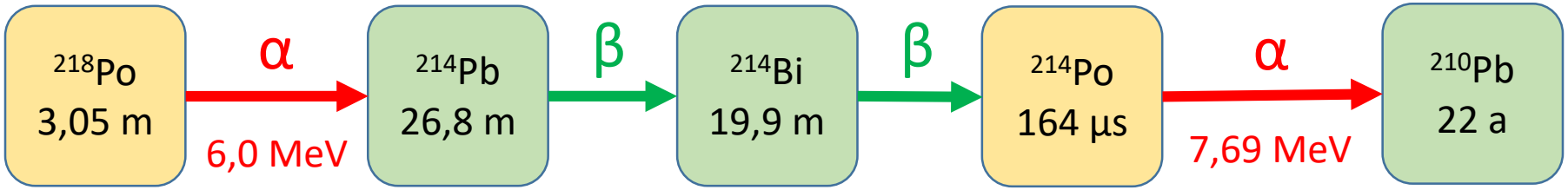
$$PAE\ (MeV) = 13{,}69 \cdot N_{Po\text{-}218} + 7{,}69 \cdot N_{Pb\text{-}214} + 7{,}69 \cdot N_{Bi\text{-}214} + 7{,}69 \cdot N_{Po\text{-}214}$$

MeV/átomo átomos

[MeV/átomo]: Energía alfa comprometida que se puede depositar en el tejido pulmonar debido a la incorporación de un átomo de descendiente

Magnitudes y Unidades

Concentración de Energía potencial alfa (PAEC): es la energía alfa total emitida por metro cúbico en la desintegración de los descendientes de vida corta del radón en su cadena de desintegración hasta llegar al ^{210}Po



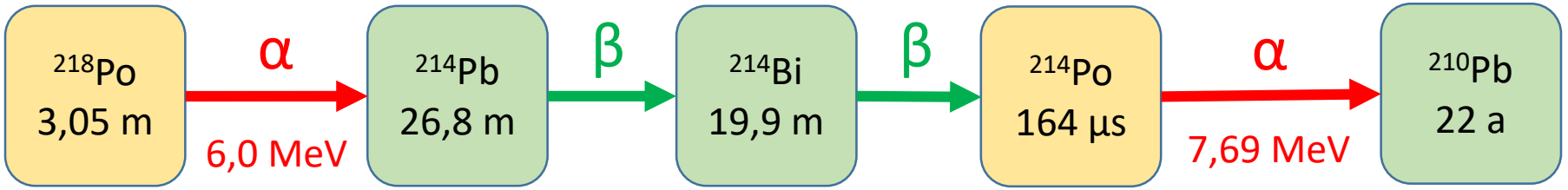
$$PAEC\ (MeV/m^3) = a \cdot C_{Po\text{-}218} + b \cdot C_{Pb\text{-}214} + c \cdot C_{Bi\text{-}214} + d \cdot C_{Po\text{-}214}$$

MeV/Bq Bq/m³

(ICRP 50, 1987)

Magnitudes y Unidades

Concentración de Energía potencial alfa (PAEC): es la energía alfa total emitida por metro cúbico en la desintegración de los descendientes de vida corta del radón en su cadena de desintegración hasta llegar al ^{210}Po



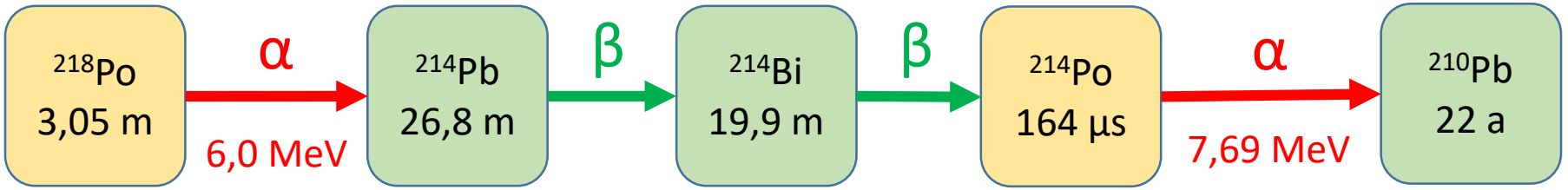
$$PAEC\ (MeV/m^3) = 3615 \cdot C_{Po\text{-}218} + 17840 \cdot C_{Pb\text{-}214} + 13250 \cdot C_{Bi\text{-}214} + 0{,}002 \cdot C_{Po\text{-}214}$$

MeV/Bq Bq/m³

[MeV/Bq] = [MeV/átomo]·N/A= [MeV/átomo]·λ= [MeV/átomo]·$T_{1/2}$/Ln2

Magnitudes y Unidades

Concentración de Energía potencial alfa (PAEC): es la energía alfa total emitida por metro cúbico en la desintegración de los descendientes de vida corta del radón en su cadena de desintegración hasta llegar al ^{210}Po



$$PAEC\ (MeV/m^3) = 3615 \cdot C_{Po\text{-}218} + 17840 \cdot C_{Pb\text{-}214} + 13250 \cdot C_{Bi\text{-}214} + 0{,}002 \cdot C_{Po\text{-}214}$$

Working Level (WL): Combinación de descendientes de radón que libera una energía potencial alfa de $1{,}30 \cdot 10^8$ MeV en 1 metro cubico de aire que corresponde con una concentración de radón en equilibrio de 3700 Bq/m^3 (100 pCi/L).

$1\ WL = 1{,}30 \cdot 10^8\ MeV/m^3$

Magnitudes y Unidades



Working Level (WL)

Working level is a historical unit of potential alpha energy concentration. 1 WL = 20.8 μJ m^{-3}.

Note 1: Although the WL is not an SI unit, it is still used for the characterization of the radon progeny activity concentration, particularly to understand the historical publications.

Note 2: 1 WL was originally defined as the concentration of potential alpha energy associated with the radon progeny in equilibrium with 100 pCi l^{-1} (3700 Bq l^{-1}). However, in ICRP Publication 65, it was redefined as: Any combination of short-lived progeny of radon in 1 l of air that will result in the emission of 1.30 × 10^5 MeV of potential alpha energy (both definitions are identical within a few percent).

Magnitudes y unidades

Exposición Equivalente de Equilibrio (*P*): Concentración equivalente de equilibrio durante un periodo de tiempo

$$P\ (\mathrm{Bq/m^3\,h}) = EEC \cdot t$$

Working Level Month (WLM) = 1 WL durante 170 h = 6,37 ·10^5 $\mathrm{Bq/m^3\,h}$

Magnitudes y unidades

Factor de Equilibrio (*F*): Relación entre la concentración equivalente de equilibrio y la concentración de radón

$$F = \frac{EEC\ (\mathrm{Bq/m^3})}{C_{\mathrm{Rn}}(\mathrm{Bq/m^3})}$$

F= 0,2 para minas con ventilación forzada
F= 0,4 para viviendas
F= 0,8 exteriores

$$F = \frac{PAEC\ (\mathrm{WL}) \cdot {\frac{3700\ \mathrm{Bq}}{\mathrm{m^3}}}/{WL}}{C_{\mathrm{Rn}}(\mathrm{Bq/m^3})}$$

Magnitudes y unidades

Dosis efectiva E (mSv):

$$E(\mathrm{mSv}) = C\ (\mathrm{Bq/m^3}) \cdot F \cdot t(\mathrm{h})\ \cdot DCF\ (\mathrm{mSv/Bq/m^3\,h})$$

$$E(\mathrm{mSv}) = \frac{C\ (\mathrm{Bq/m^3}) \cdot F \cdot t(\mathrm{h})}{170 \cdot 3700} \cdot DCF\ (\mathrm{mSv/WLM})$$

DCF : Factor de conversión a dosis

Magnitudes y unidades

Cálculo del Factor de conversión a dosis (*DCF*)

$$DCF = \frac{\text{Riesgo / WLM}}{\text{Riesgo / Sv}} = [\text{Sv/WLM}]$$

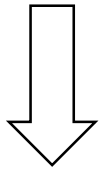
Riesgo o detrimento por WLM: Coeficiente nominal de probabilidad de muerte por cáncer de pulmón debido a una exposición de descendientes de radón. Estudio cohortes mineros Uranio.

Riesgo o detrimento por Sv: Estudios realizados a los supervivientes de las bombas atómicas de Japón y estudios en animales

Magnitudes y unidades

Mineros en trabajos subterráneos y viviendas
10 mSv/WLM

Puestos de trabajo con actividad física intensa y cuevas turísticas
20 mSv/WLM



Impacto significativo en la estimación del riesgo y los sistema de protección radiológica

(ICRP 137, 2017)

Cálculo dosimétrico

$$E(\mathrm{mSv}) = \frac{C\ (\mathrm{Bq/m^3}) \cdot F \cdot t(\mathrm{h})}{170 \cdot 3700} \cdot DCF\ (\mathrm{mSv/WLM})$$

Lugar de trabajo: Recinto estándar, sin actividad física

*C*Rn media anual=300 Bq/m^3
t = 2000 horas al año

$$E(\mathrm{mSv}) = \frac{300\ \mathrm{Bq/m^3 \cdot 0{,}4 \cdot 2000\ h}}{170 \cdot 3700} \cdot 10\ \mathrm{mSv/WLM} \approx 4\ \mathrm{mSv}$$

Vivienda

*C*Rn media anual=300 Bq/m^3
t = 7000 horas al año

$$E(\mathrm{mSv}) = \frac{300\ \mathrm{Bq/m^3 \cdot 0{,}4 \cdot 7000\ h}}{170 \cdot 3700} \cdot 10\ \mathrm{mSv/WLM} \approx 14\ \mathrm{mSv}$$

Referencias

- Benoit Sabot. Radon Metrology: Advancements and Challenges in International Indoor Air Quality Assessment. Séminaire du Bureau International des Poids et mesure, Bureau International des Poids et mesure (BIPM), May 2023, On Line, France. ffcea-04187442

- Thu, H. N. P., & Van Thang, N. (2020). The effects of some soil characteristics on radon emanation and diffusion. *Journal of environmental radioactivity*, *216*, 106189.

- ICRP 50 (1987) Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters

- ICRU (2012) Report 88: Measurement and Reporting of Radon Exposures

- ICRP 137 (2017) Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3

- Birchall (1994) Uncertainty analysis of the effective dose per unit exposure from radon progeny and implications for ICRP risk-weighting factors

Módulo III. Metrología y calibración del radón

Tema 2 Calibración de equipos de campo y laboratorio. Incertidumbres

Dr. Daniel Rábago (daniel.rabago@unican.es)

LaRUC Laboratorio de Radiactividad Ambiental | Universidad de Cantabria

UC | Universidad de Cantabria

Estándar IEC 61577



INTERNATIONAL STANDARD

IEC 61577

- Campo de radón existe un estándar de la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional): serie 61577 (1 a 4)

- Cubre las características generales relativas a la prueba y calibración de radón y instrumentos de medición de productos de desintegración del radón.

- También está destinado a ayudar a definir las pruebas de tipo, que deben realizarse para calificar estos instrumentos.

Estándar IEC 61577

- IEC 61577-4 concerns the System for Test Atmospheres with Radon (STAR) needed for testing, in a reference atmosphere, the instruments measuring radon and RnDP

Radiation protection instrumentation – Radon and radon decay product measuring instruments –
Part 4: Equipment for the production of reference atmospheres containing radon isotopes and their decay products (STAR)

- Instrumentación para calibrar dispositivos de medida de radón: **Cámara de radón**

System for Test Atmospheres with Radon (STAR)

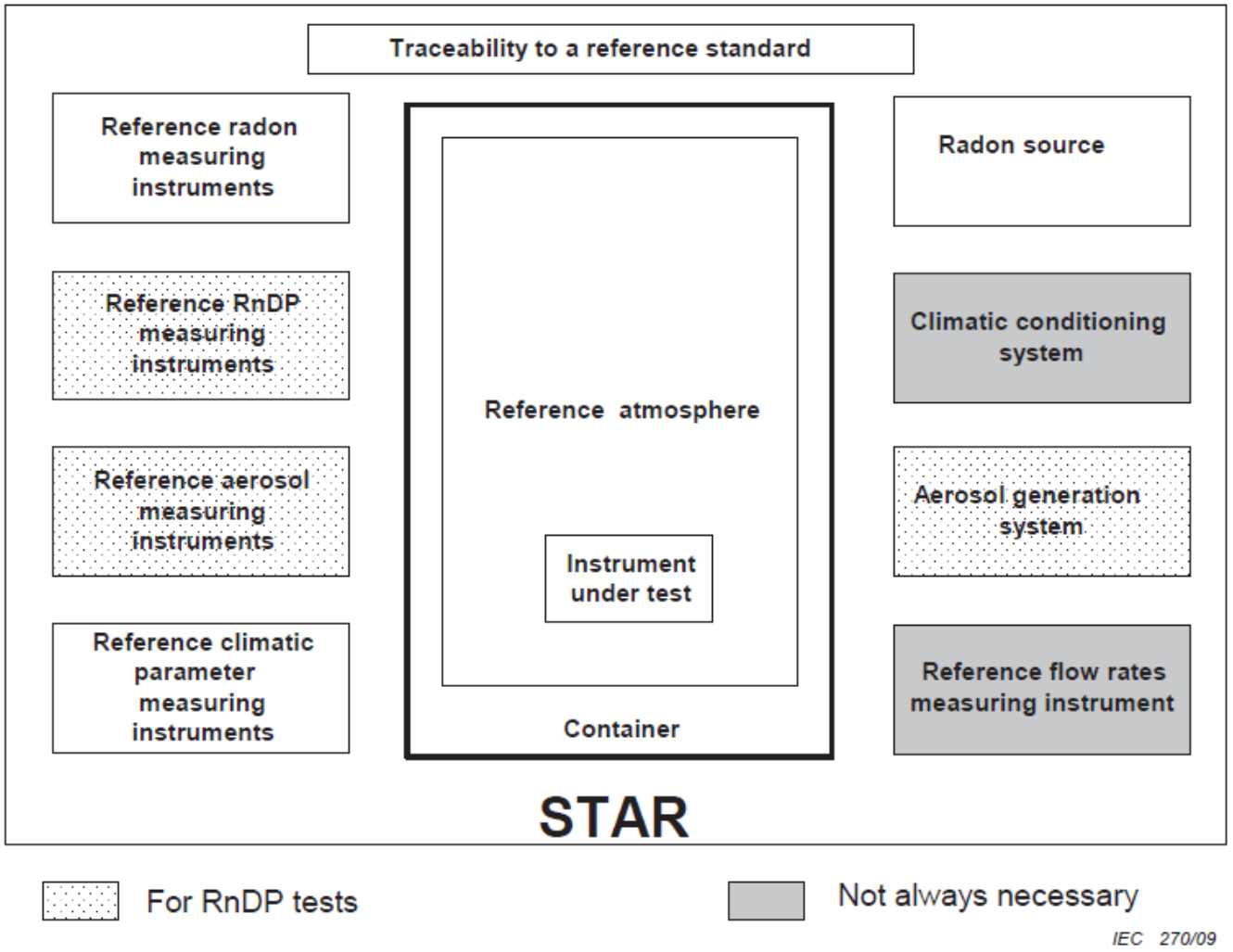


Figure 1 – Components of a STAR: general case

System for Test Atmospheres with Radon (STAR)

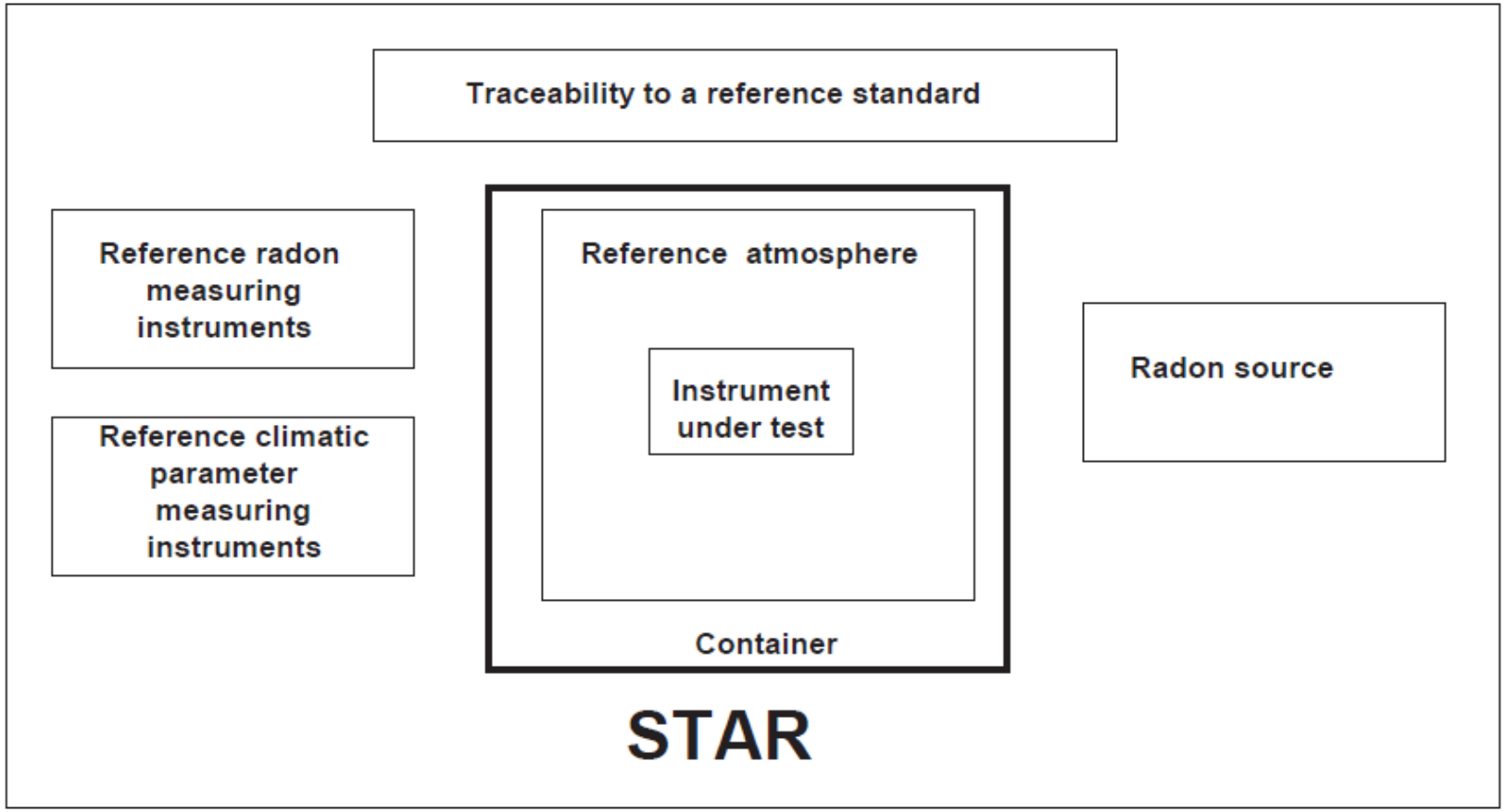


Figure 2 – Minimum requirements for a STAR

Planteamiento teórico

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\phi}{V} - \lambda \cdot C$$

C (Bq/m^3): Concentración radón

t (h) : tiempo

ϕ (Bq/h): Tasa de producción de la fuente

V (m^3): Volumen de la cámara

$\lambda\ (h^{-1}) = \lambda_{Rn} + \lambda_L + \lambda_e$

λ_{Rn} : Constante decaimiento del Rn(0,0076 h^{-1})

λ_L : Fugas

λ_e : Intercambio de aire con el exterior

Planteamiento teórico

$$C(t) = C_0 e^{-\lambda t} + \frac{\phi}{V\lambda}(1 - e^{-\lambda t})$$

C_0 (Bq/m^3): Concentración inicial de radón

ϕ (Bq/h): Tasa de producción de la fuente

$\lambda = \lambda_{Rn} + \lambda_L + \lambda_e$

$$\lambda_e = \frac{60\, f}{1000\, V}$$

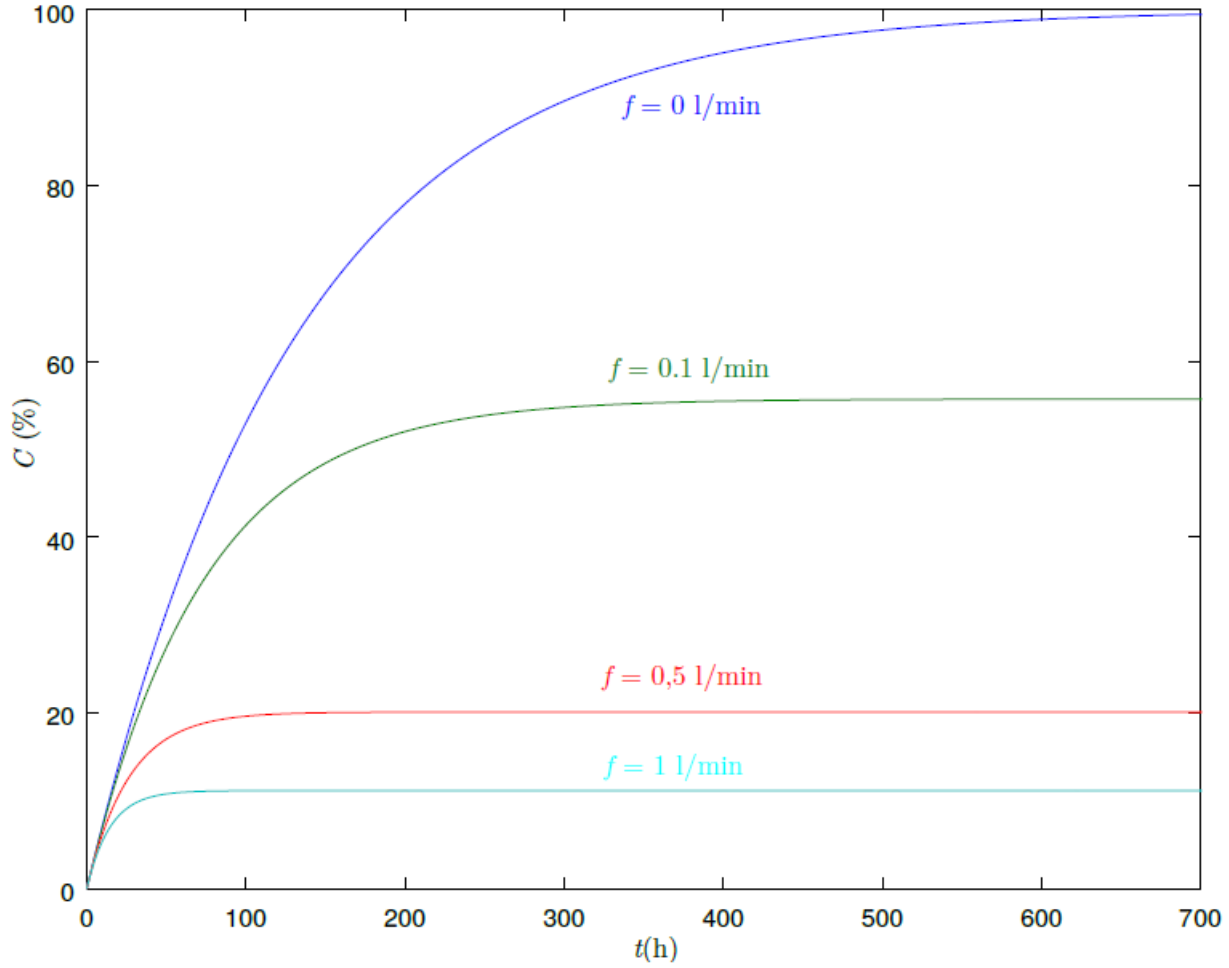
λ_{Rn} : Constante decaimiento del Rn(0,0076 h^{-1})

λ_L : Fugas

λ_e : Intercambio de aire con el exterior ⇒ f (L/min): flujo de la bomba

V (m^3): Volumen de la cámara

Planteamiento teórico



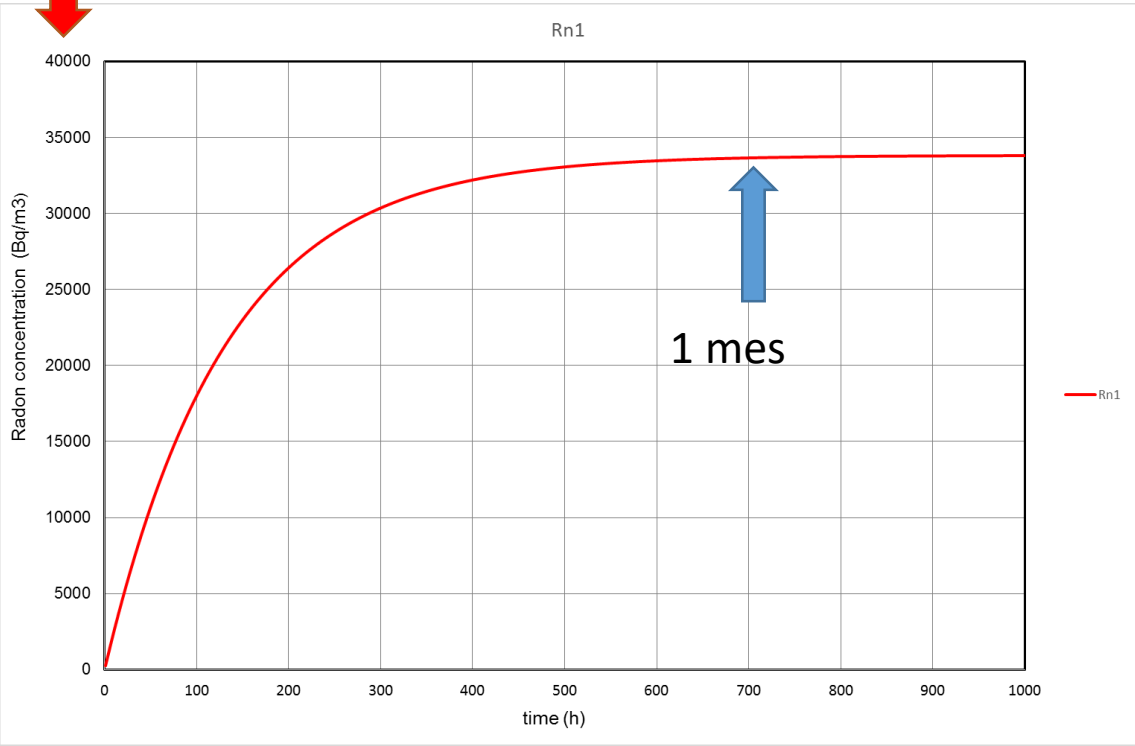
Planteamiento teórico

Produccion Fuente $de\ Rn\ \phi$= 255 Bq/h

Cámara cerrada

$F = 0$ L/min

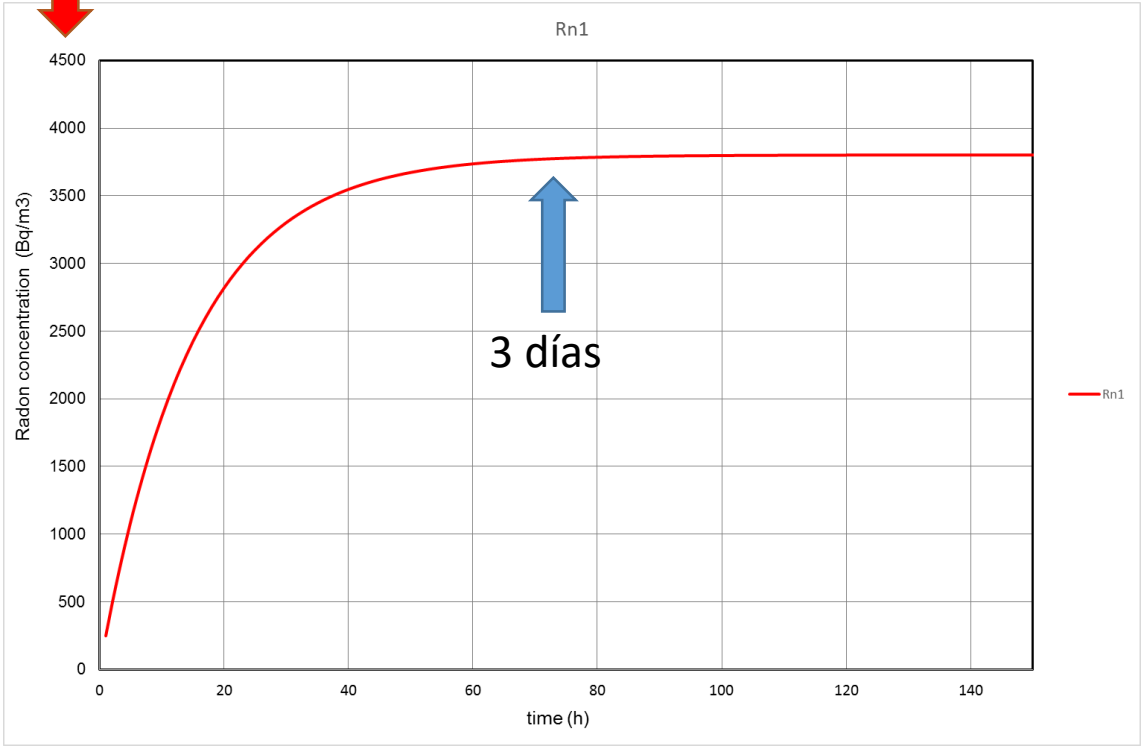
λ = 0,0076 h $^{-1}$



Intercambio de aire con bomba

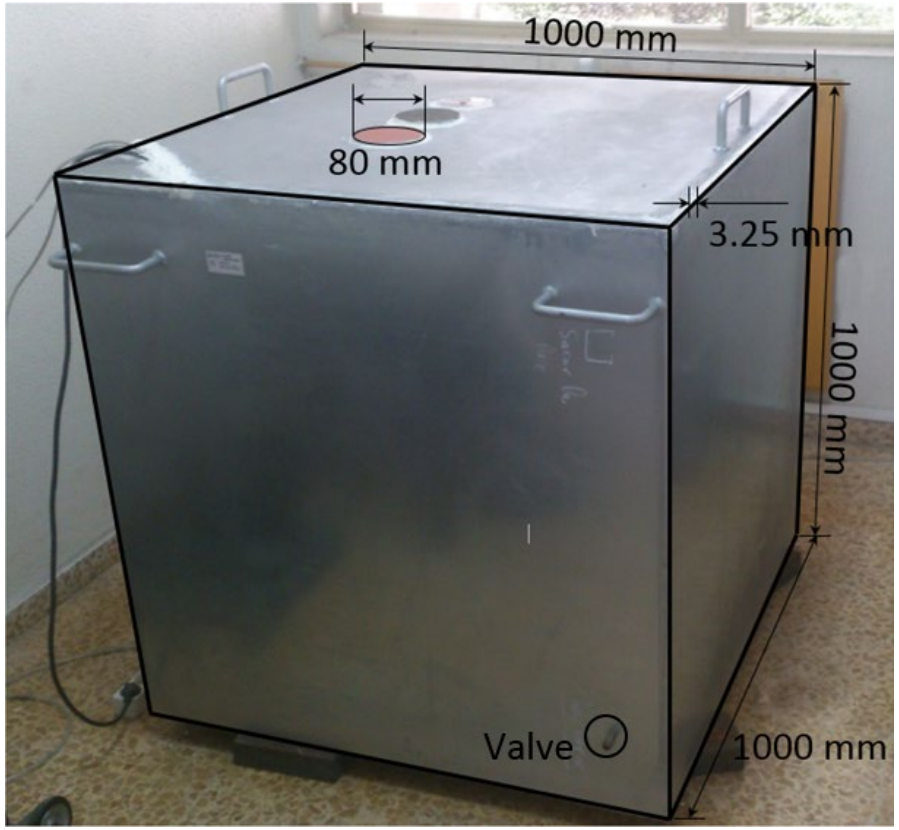
$F = 1$ L/min

λ = 0,0676 h $^{-1}$



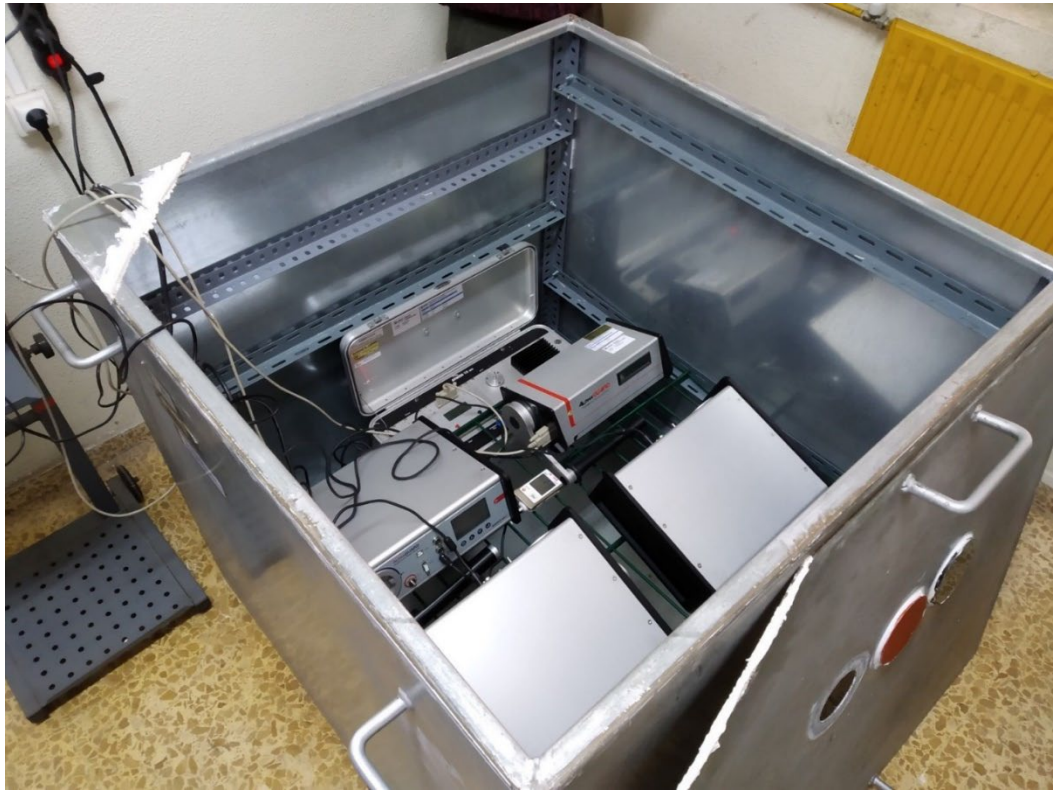
Cámara de radón LaRUC

Radon Chamber: Laboratory of Environmental Radioactivity, University of Cantabria (Spain)



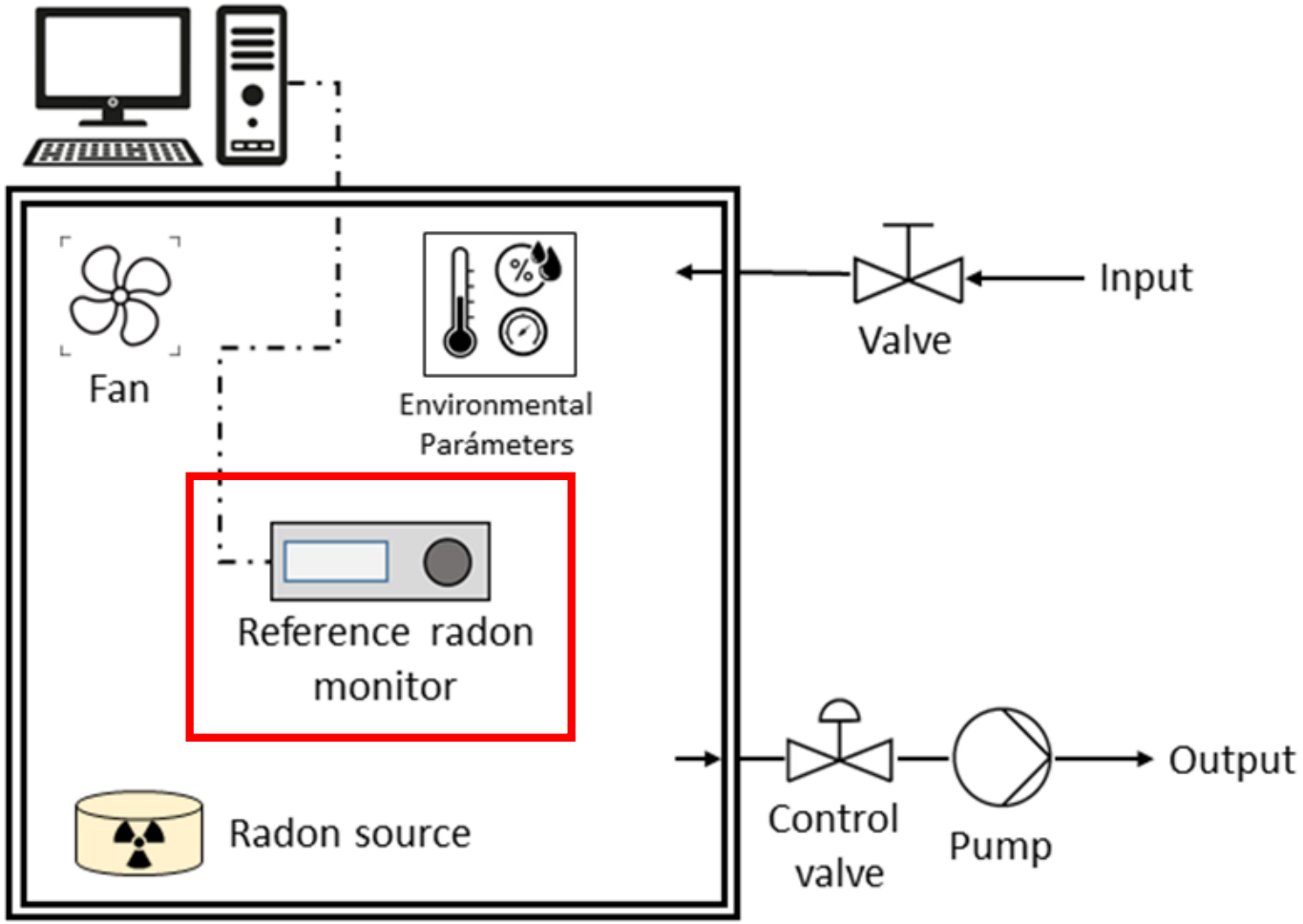
- Acero inoxidable
- Espesor de 3 mm
- Cuidadosamente soldado
- Volumen interno 1 m^3
- La cara superior es una tapa que se puede quitar
- 3 orificios circulares para insertar detectores de pistas grabadas

Cámara de radón LaRUC





Cámara de radón LaRUC



Equipos de Referencia

- Calibrados en BfS

Bundesamt für Strahlenschutz



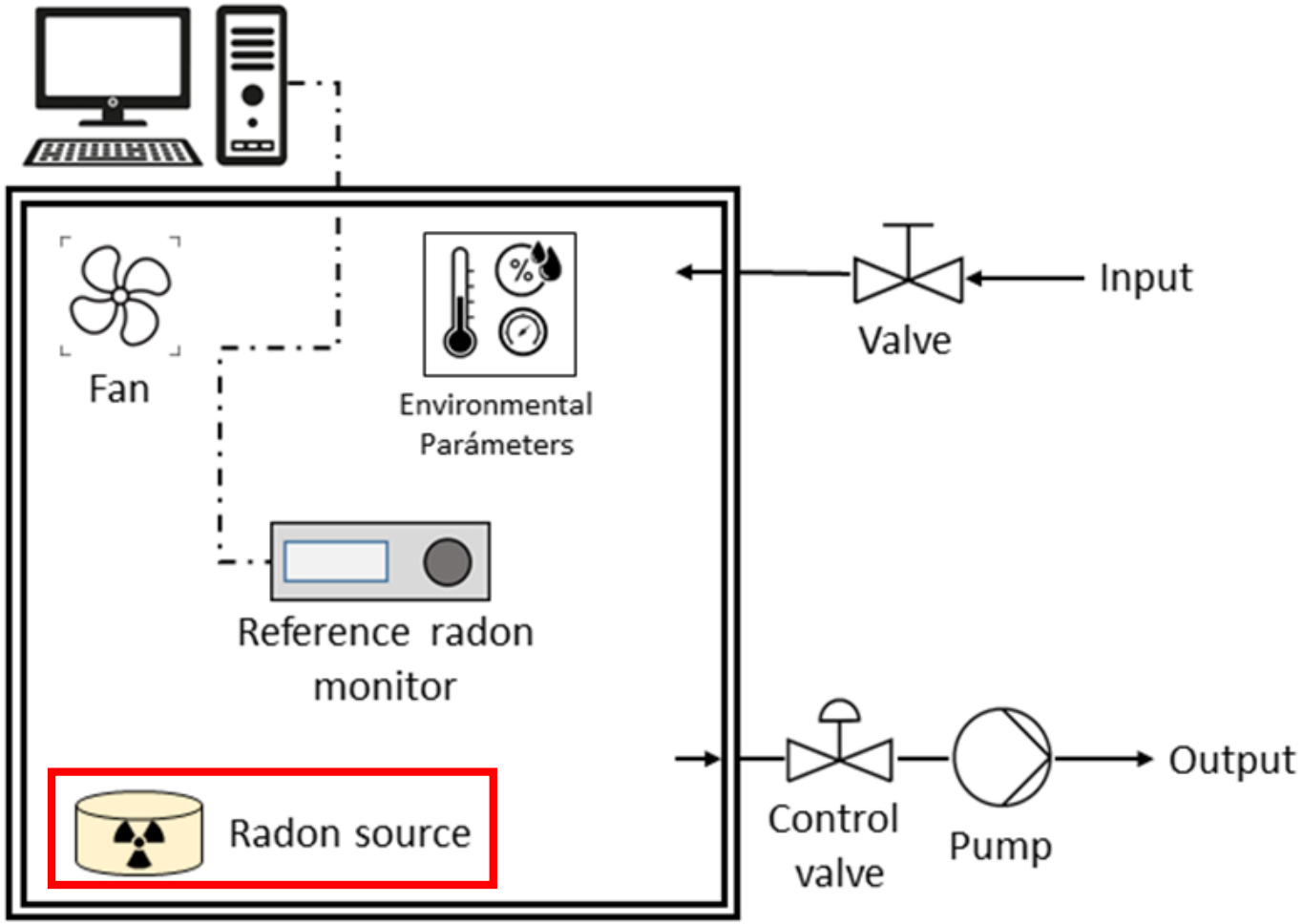
AlphaGUARD



Atmos12

Monitor	Detector	Sensibilidad(cpm at 1 kBq m^{-3})
AlphaGUARD	Cámara ionización	50
Atmos12	Cámara ionización	20

Fuentes de Radón



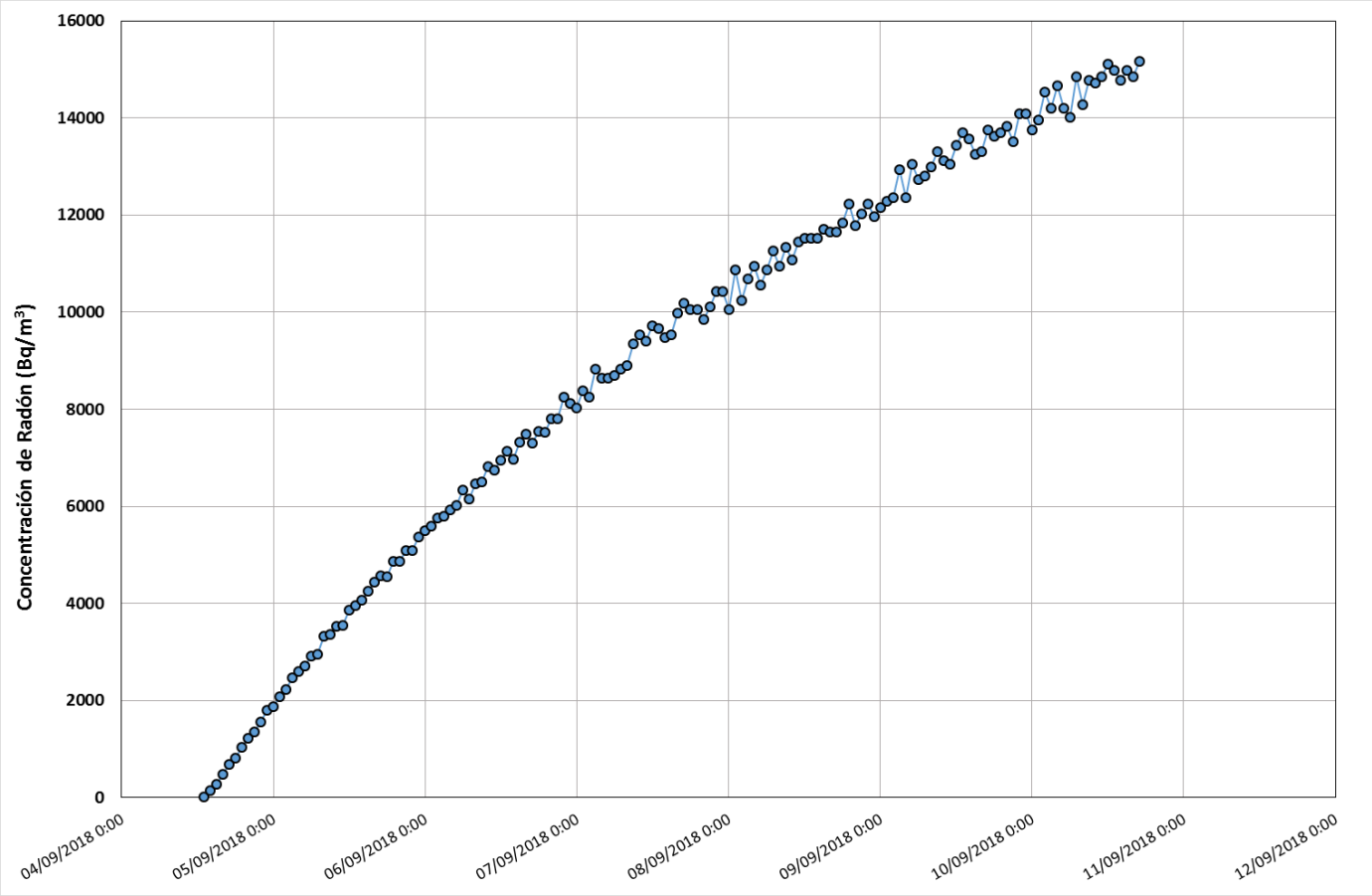
Fuentes de Radón

- Polvo seco de suelo zonas uraniferas:
  - Botes de plástico cerrado: difusión
- Fuentes comerciales Pylon
- Caracterización en ϕ (Bq/h):





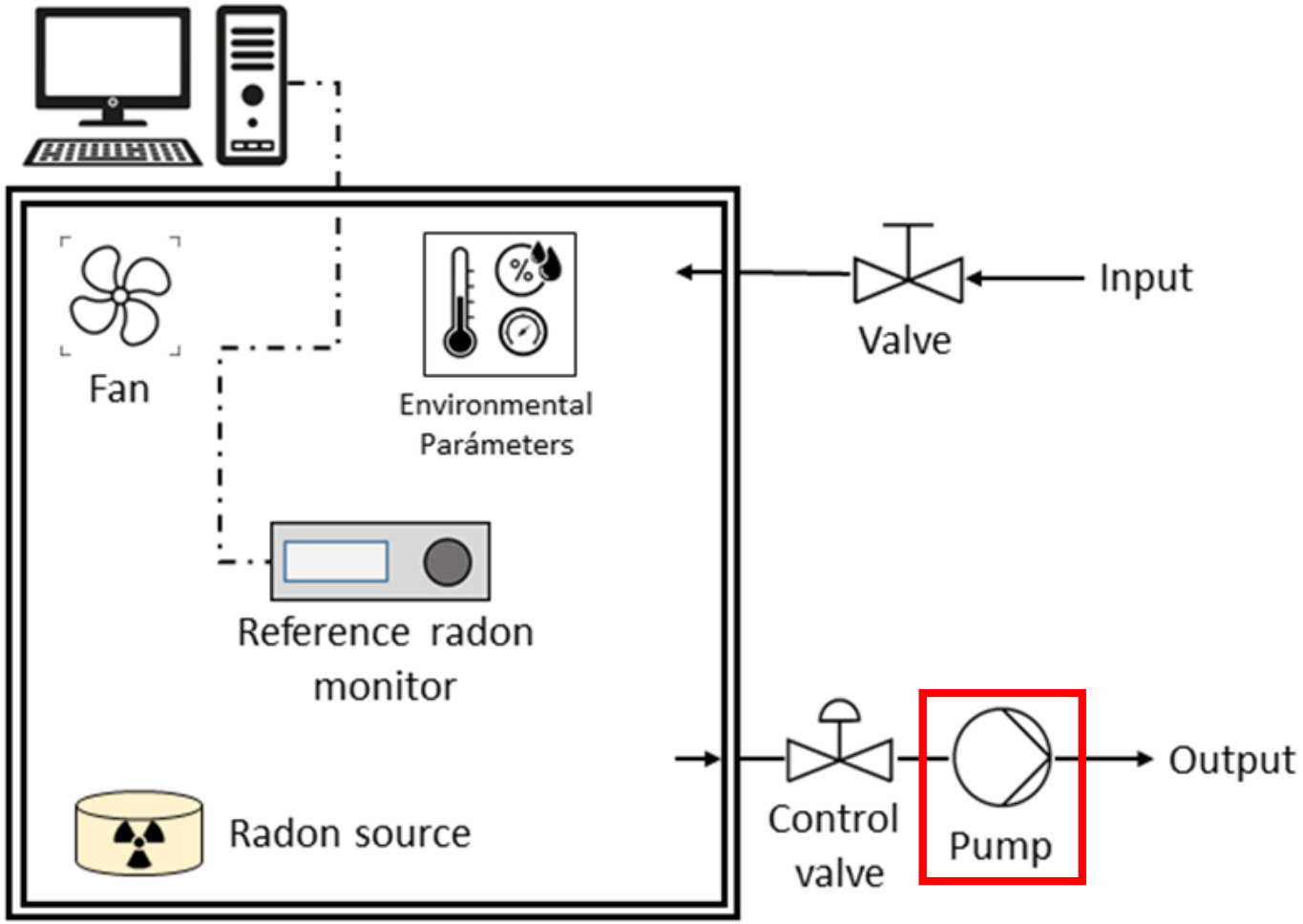
Fuentes de Radón



$$C(t) = \cancel{C_0 e^{-\lambda t}}^{\,0} + \frac{\phi}{V\lambda}(1 - e^{-\lambda t})$$

$\phi = 162 \pm 5$ Bq/h

Intercambio de aire: Bomba



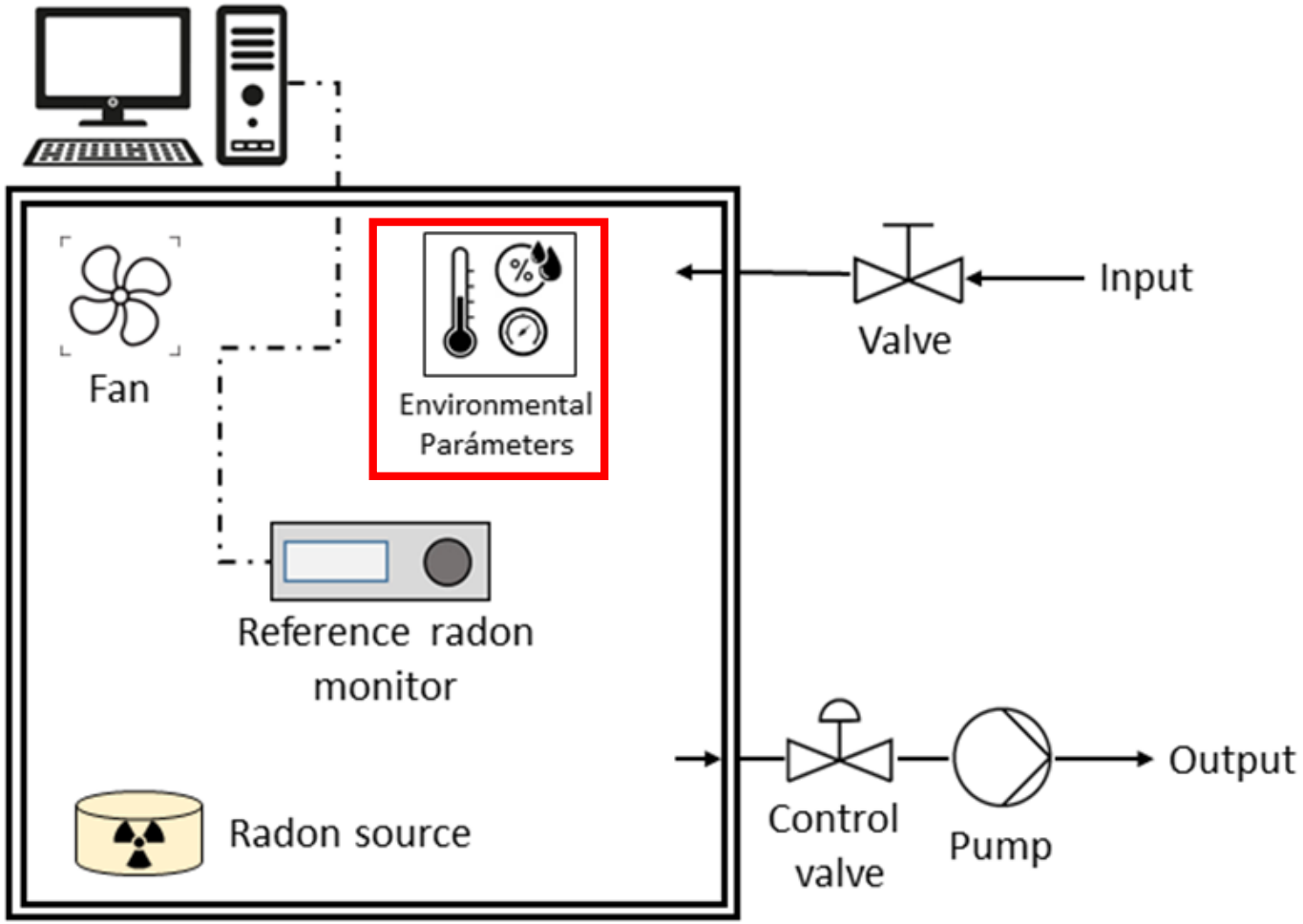
Intercambio de aire: Bomba



Bomba

- Intercambio de aire con el exterior
- Extracción
- Rango 0.5 a 30 L/min
- Estabilizar la concentración interior

Condiciones ambientales



Condiciones ambientales

- **Inside:**
  - Pressure: 600 to 1100 hPa (± 3 hPa)
  - Temperature: -20 to 70 °C (± 3 °C)
  - Relative Humidity: 0 to 100% (2% at 25 °C)
- Every sensor is calibrated in accredited laboratories
- Traceable measurements



- **Outside:**
  - Temperature control to maintain the room and chamber
  - Humidity control

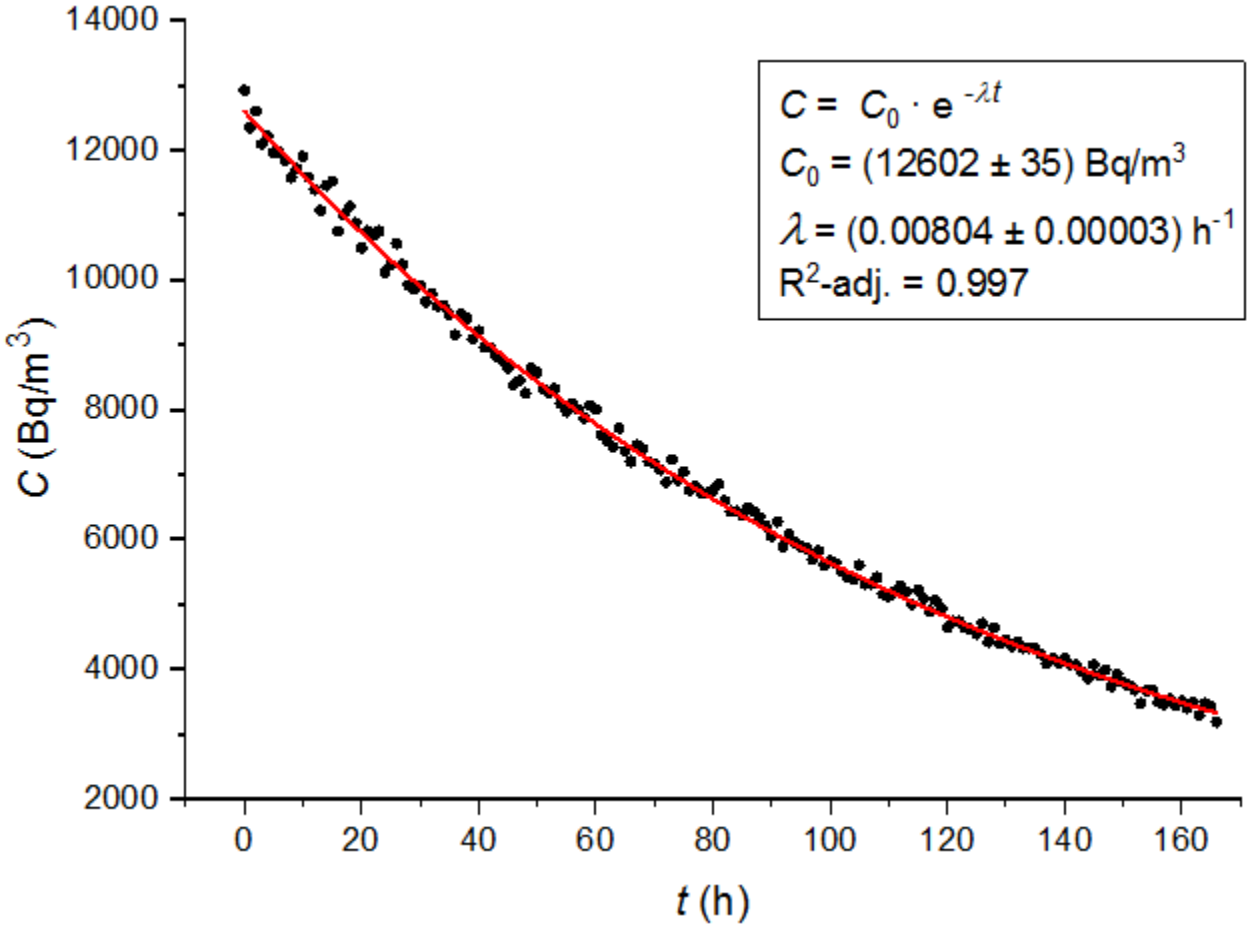
Estanqueidad de la cámara

- Sellado con Masilla acrílica
- Varias pruebas con otros materiales (Cinta de aluminio)
- Muy bajo coef. Dif. < 10^{-13} m^2/s (ISO/TS 11665-13)
- Fácil aplicación y retirada
- Otros colegas: juntas de goma a presión, parafina, etc.



Estanqueidad de la cámara

- Cámara cerrada
- Introducción Rn
- Decaimiento



- Análisis de las fugas en comparación con la λ del Rn

$\lambda = (8.04 \pm 0.03)\ 10^{-3}\ h^{-1}$

$\lambda_{Rn} = (7.5575 \pm 0.0004)\ 10^{-3}\ h^{-1}$

⇨ $\lambda_L = (0.48 \pm 0.03) \cdot 10^{-3}\ h^{-1}$

Calibración de Monitores de radón

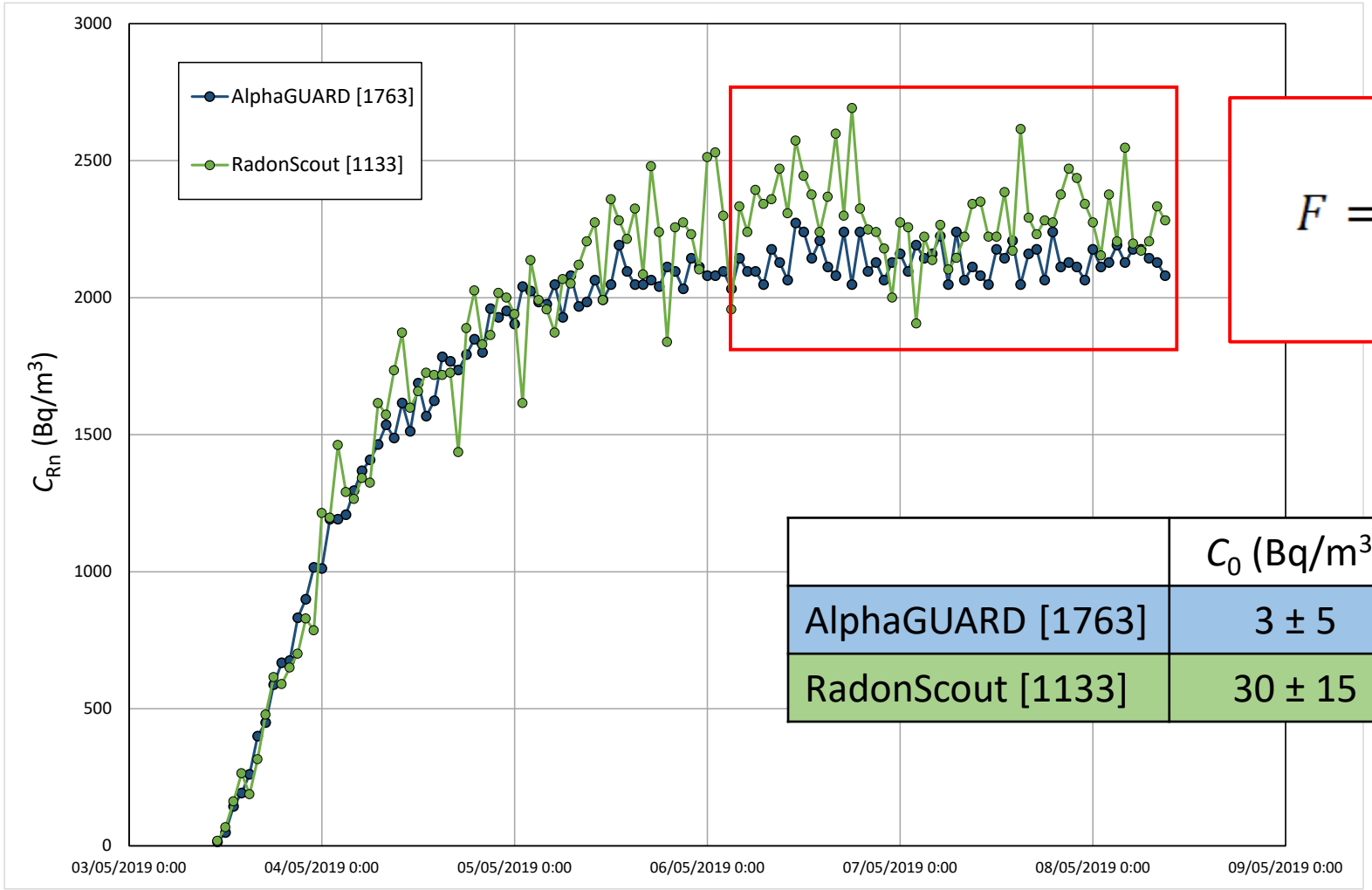
Control de fondo:

(1) Cerrar la cámara con monitor durante 2-3 periodos de Rn previamente «limpios» con aire exterior

(2) Limpiar la cámara con aire envejecido y determinar el fondo

- **Calibración:**
  - Mantener la concentración de Rn según la ecuación anterior
  - Comparar las medidas con el monitor de referencia
  - Calibración: Obtener el factor de calibración más la incertidumbre para corregir las mediciones

Calibración de Monitores de radón



$$F = \frac{\left(C^*_{ref} - C_{0,ref}\right)F_{ref}}{C^*_M - C_{0,M}} = \frac{C_{ref}}{C_M}$$

	C_0 (Bq/m^3)	C (Bq/m^3)	F
AlphaGUARD [1763]	3 ± 5	2140 ± 9	1.005 ± 0.024
RadonScout [1133]	30 ± 15	2290 ± 20	**0.950 ± 0.027**

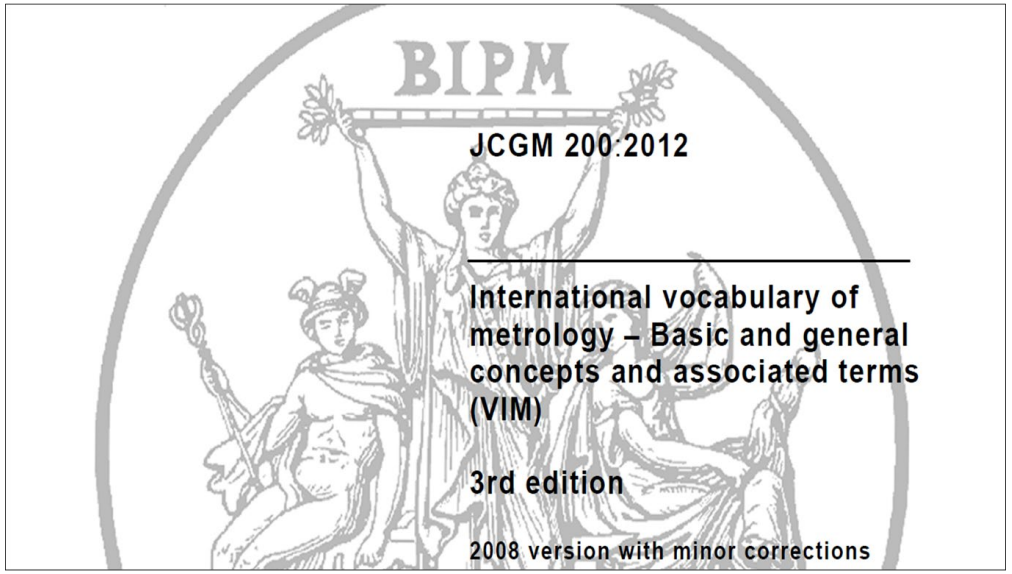
Calibración de Monitores de radón

Uncertainty (ISO/IEC Guide 99)

Parameter characterizing the dispersion of the values being attributed to a measurand, based on the information used

The Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement(GUM)

Provides general rules for evaluating and expressing uncertainty in measurement.



VIM: International Vocabulary of Metrology

JCGM 200:2012

International Vocabulary of Metrology - Basic and general concepts and associated terms (2012)

Calibración de Monitores de radón

$$F = \frac{\left(C^*_{ref} - C_{0,ref}\right)F_{ref}}{C^*_M - C_{0,M}} = \frac{C_{ref}}{C_M}$$

$$\left(\frac{u(F)}{F}\right)^2 = \left(\frac{u\left(C_{ref}\right)}{C_{ref}}\right)^2 + \left(\frac{u(C_M)}{C_M}\right)^2$$

$$\left(\frac{u\left(C_{ref}\right)}{C_{ref}}\right)^2 = \frac{u\left(C^*_{ref}\right)^2 + u\left(C_{0,ref}\right)^2}{\left(C^*_{ref} - C_{0,ref}\right)^2} + \left(\frac{u\left(F_{ref}\right)}{F_{ref}}\right)^2$$

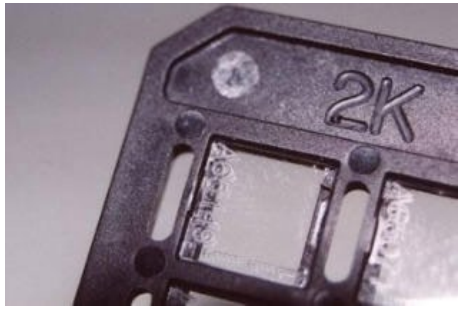
$$\left(\frac{u(C_M)}{C_M}\right)^2 = \frac{u(C^*_M)^2 + u\left(C_{0,M}\right)^2}{\left(C^*_M - C_{0,M}\right)^2}$$

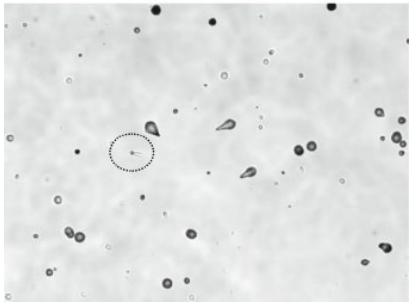
$$u(C^*) = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

Calibración de detectores pasivos

Proporcionan la concentración de radón integrada en el tiempo: Exposición E (Bq m^{-3} h)



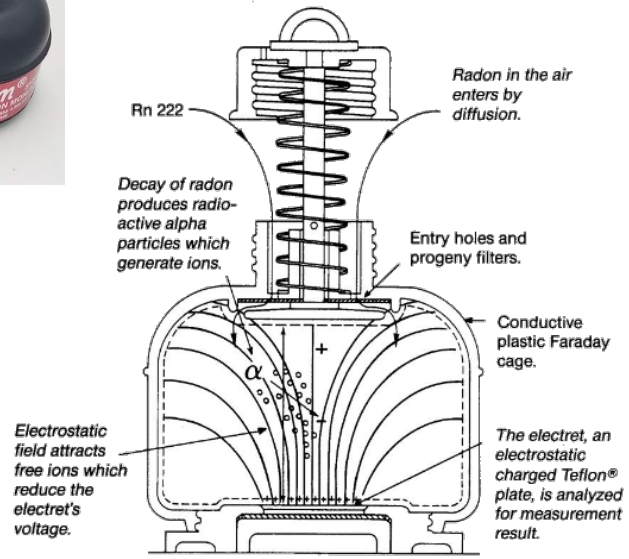




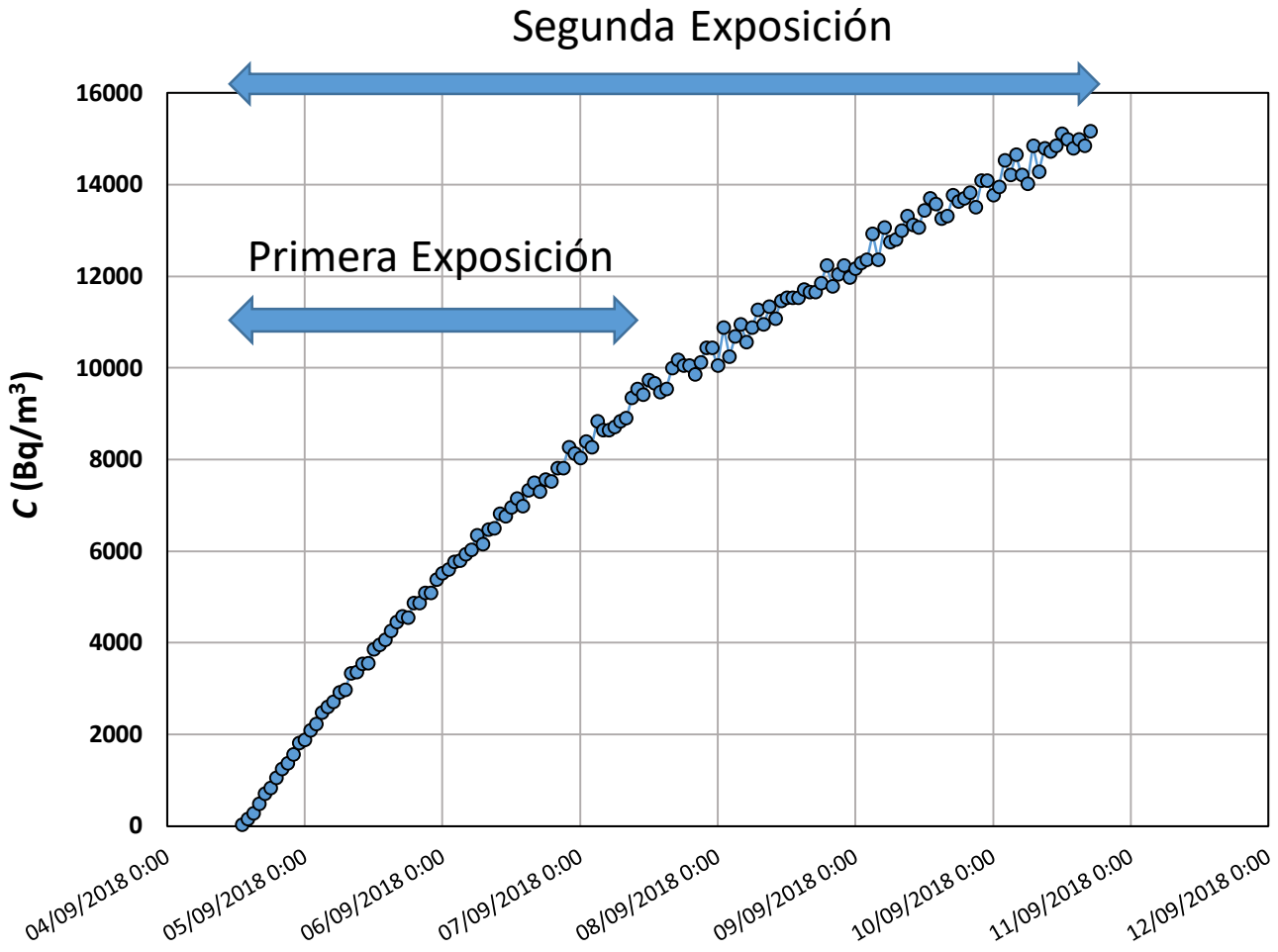
$E \propto D$ (trazas/mm^2)



$E \propto \Delta V$ (V)



Calibración de detectores pasivos



Inicio	04/09/2018 13:00	04/09/2018 13:00
Fin	07/09/2018 17:00	10/09/2018 17:00
E (kBq m^{-3} h)	426	1338

$$E = C \cdot \Delta t$$

Varios detectores por exposición

Calibración de detectores pasivos

$$CF = \frac{E}{D}$$

Exposición de Referencia en Cámara de Rn

Magnitud medida por el detector pasivo

CF= Factor de Calibración(kBq m^{-3} h / trazas/mm^2)

E= Exposición (kBq m^{-3} h)

D= densidad de trazas netas(trazas/mm^2) [sustraido el fondo]

Calibración de detectores pasivos

$$u(CF) = \sqrt{\left(\frac{1}{D}u(E)\right)^2 + \left(\frac{-E}{D^2}u(D)\right)^2}$$

$$u(D) = \frac{1}{n}\sqrt{\sum_i^n u(D_i)^2}$$

Varios detectores por exposición

Referencias

- IEC 61577: Radiation protection instrumentation - Radon and radon decay product measuring instruments. Part 4: Equipment for the production of reference atmospheres containing radon isotopes and their decay products (STAR)

- CEM (2000). Guía para la expresión de la incertidumbre de medida. Centro Español de Metrología.

- JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement.

- Fuente, M., Rabago, D., Herrera, S., Quindos, L., Fuente, I., Foley, M., & Sainz, C. (2018). Performance of radon monitors in a purpose-built radon chamber. Journal of Radiological Protection, 38(3), 1111.

- Beck, T. R., Foerster, E., Biel, M., & Feige, S. (2024). Measurement performance of electronic radon monitors. Atmosphere, 15(10), 1180.

- Beck, T. R., & Biel, M. (2024). Metrological realization of the radon activity concentration in air. Applied Radiation and Isotopes, 212, 111448.

Módulo III. Metrología y calibración del radón

Tema 3. Organización de un laboratorio.

UNE-EN ISO 11665-7. ISO 11665-4

Dr. Daniel Rábago (daniel.rabago@unican.es)

LaRUC Laboratorio de Radiactividad Ambiental | Universidad de Cantabria

UC | Universidad de Cantabria

Organización de un Laboratorio

Norma **ISO/IEC 17025**: Aplicada por los laboratorios de ensayo y calibración con el objetivo de demostrar que son técnicamente competentes y que sus resultados son veraces.

Infraestructura

Gestión Calidad

Métodos

ISO 17025

Gestión Muestras

Personal

Organización de un Laboratorio

Infraestructura



- Ambientes controlados
- Equipamiento calibrado y verificado periódicamente
- Muestras patrón y de referencia
- Calibraciones internas y verificaciones

Organización de un Laboratorio

Personal



- Formación adecuada
- Experiencia demostrable y documentada (procedimientos para su capacitación / Registros)

Organización de un Laboratorio

Métodos



- Métodos normalizados para los ensayos (ISO, IEC, ASTM, etc.)
- Validación de los métodos:
  - Exactitud, precisión, linealidad, limites de detección, Rango del alcance.
- Controles de calidad:
  - Intercomparaciones
  - Ensayos en paralelo

Organización de un Laboratorio

Gestión Muestras



- Recepción
- Codificación
- Trazabilidad
- Conservación

Organización de un Laboratorio

Gestión Calidad



Procedimientos documentados para:

- Ensayos
- Calibración de equipos
- Manejo de no conformidades
- Quejas y acciones correctivas

ISO 11665-7

norma española

UNE-EN ISO 11665-7

Junio 2016

Versión corregida, Septiembre 2016

TÍTULO

Medición de la radiactividad en el ambiente

Aire: radón-222

Parte 7: Método de acumulación para estimar la tasa de exhalación en superficie

(ISO 11665-7:2012)

ISO 11665-7

4 Principio

El método de medición para estimar la tasa de exhalación en superficie se basa en los siguientes supuestos:

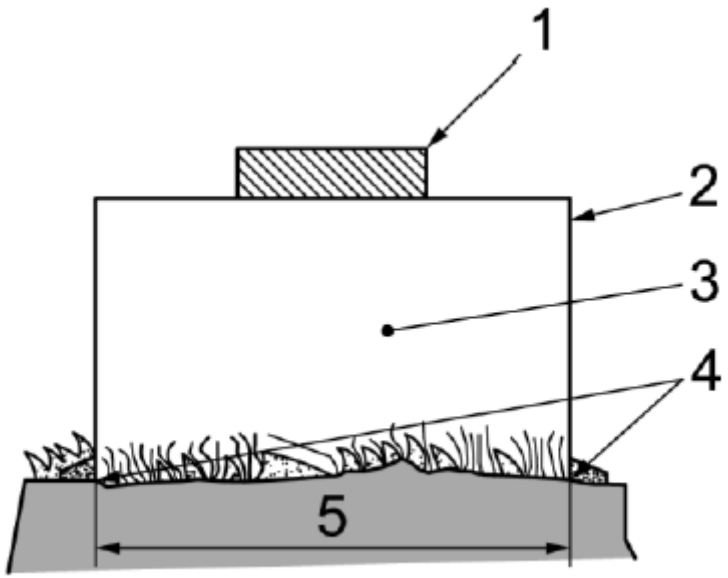
a) acumulación de radón en una cámara sin contenido de radón en contacto con la superficie de investigación durante un tiempo conocido;

b) muestreo de un volumen de aire representativo del aire presente en la cámara de acumulación;

c) medición de la concentración de actividad de radón en esta muestra de aire;

d) cálculo de la tasa de exhalación en superficie.

ISO 11665-7



Leyenda

1 Dispositivo de medición
2 Cámara de acumulación
3 Volumen efectivo
4 Superficie de contacto
5 Superficie efectiva

$$\lambda = \lambda_{\mathrm{Rn222}} + \lambda_B + \lambda_V$$

- Acumulación de radón en el interior del contenedor

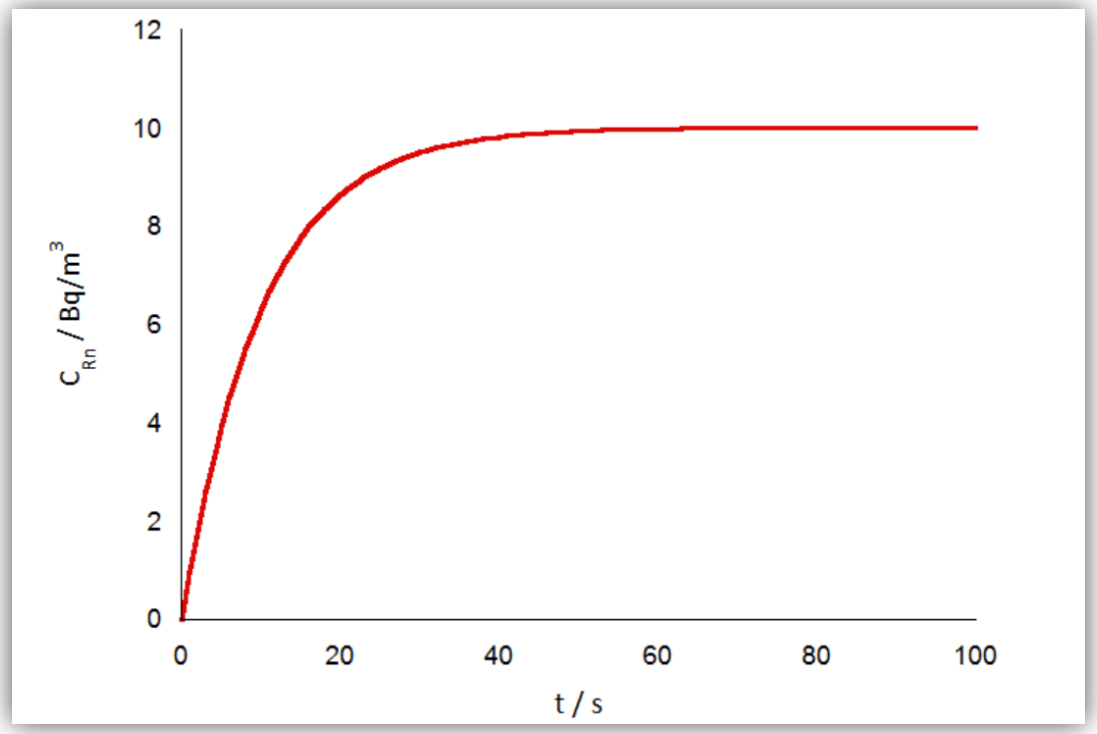
$$C(t) = \frac{\phi \cdot S}{V \cdot \lambda} \cdot \left(1 - \mathrm{e}^{-\lambda t}\right)$$

- Aproximación: $t \ll \lambda^{-1}$ y $\lambda' \approx \lambda$

$$C(t) = \frac{\phi \cdot S}{V} \cdot t$$

$$\phi = p \cdot \frac{V}{S} = p \cdot h$$

ISO 11665-7



- Acumulación de radón en el interior del contenedor

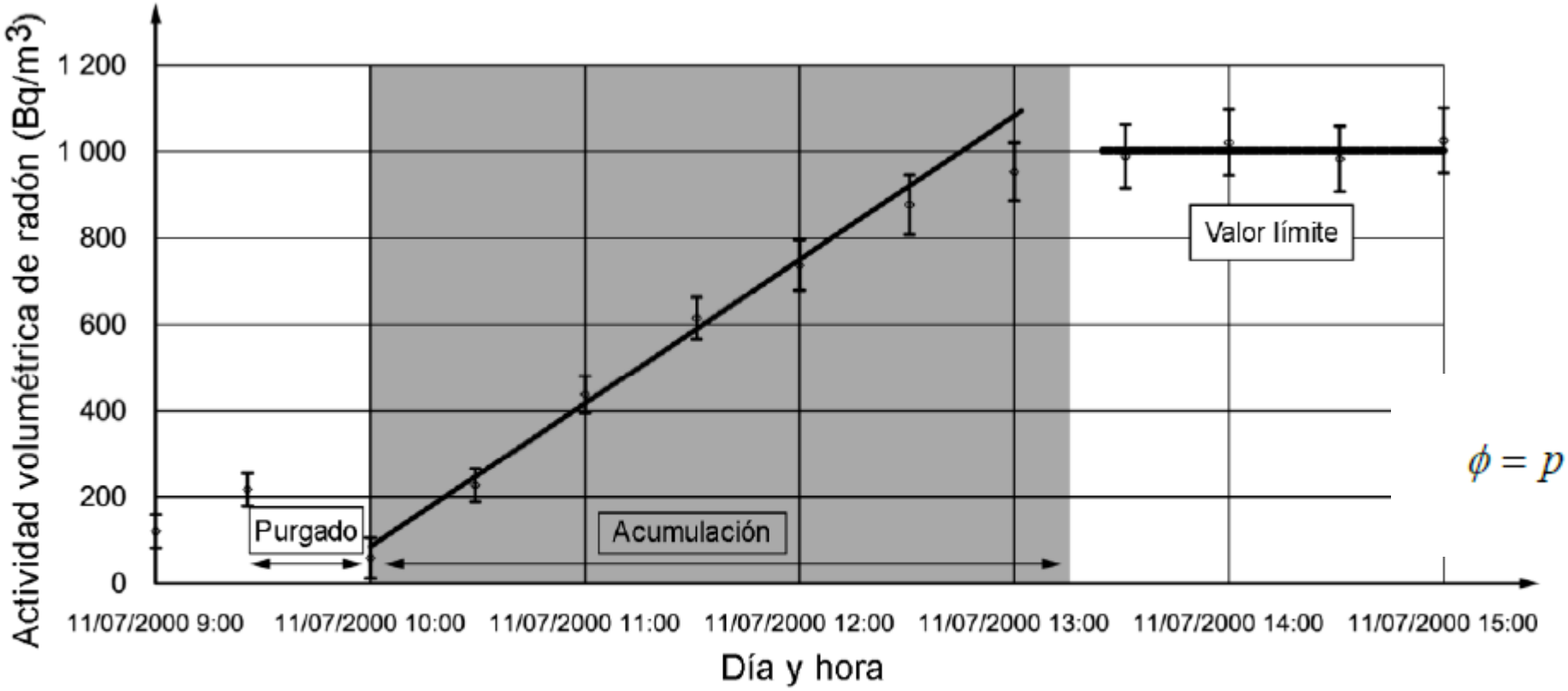
$$C(t) = \frac{\phi \cdot S}{V \cdot \lambda} \cdot \left(1 - e^{-\lambda t}\right)$$

- Aproximación: $t \ll \lambda^{-1}$ y $\lambda' \approx \lambda$

$$C(t) = \frac{\phi \cdot S}{V} \cdot t$$

$$\phi = p \cdot \frac{V}{S} = p \cdot h$$

ISO 11665-7



$$C(t) = \frac{\phi \cdot S}{V} \cdot t$$

$$\phi = p \cdot \frac{V}{S} = p \cdot \omega_p \text{ con } \omega_p = \frac{V}{S}$$

Figura 1 – Ejemplo de cambios en la concentración de actividad de radón en la cámara de acumulación

ISO 11665-7

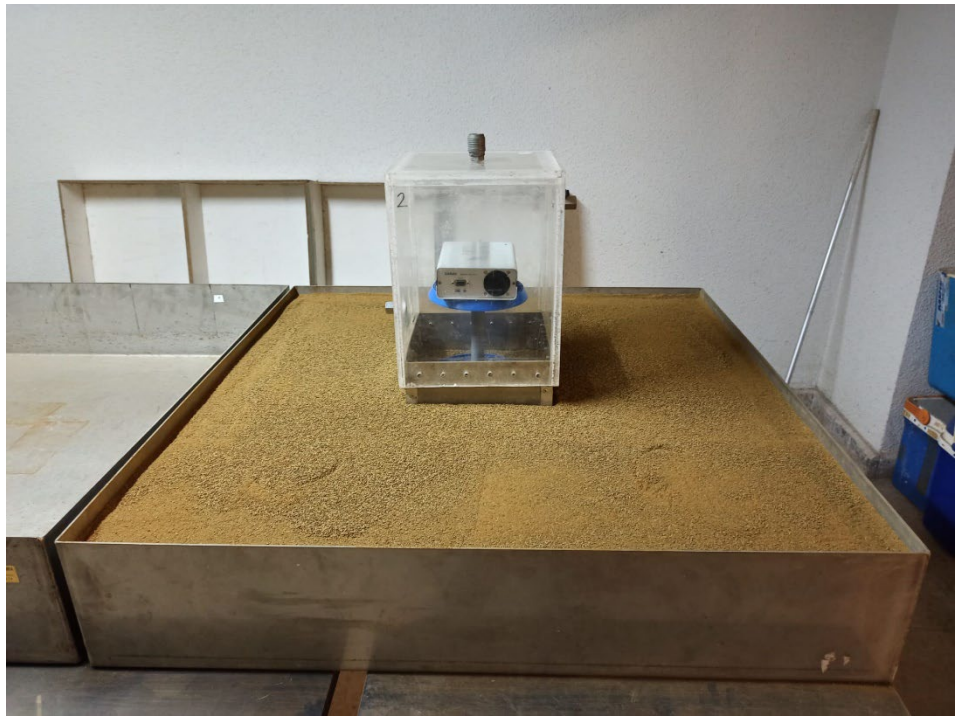
$$\phi = p \cdot \frac{V}{S} = p \cdot \omega_{\mathrm{p}} \text{ con } \omega_{\mathrm{p}} = \frac{V}{S}$$

$$u(\phi) = \sqrt{\omega_{\mathrm{p}}^2 \cdot u^2(p) + \phi^2 \cdot \left[u_{\mathrm{rel}}^2(\omega_{\mathrm{p}})\right]}$$

$$u_{\mathrm{rel}}^2(\omega) = u_{\mathrm{rel}}^2(V) + u_{\mathrm{rel}}^2(S)$$

$$u^2(p) = \frac{\sum\left\{(t_i - \overline{t}_i)^2 \cdot \left[u^2(C_i) + u^2(\overline{C}_i) + 2 \cdot u^2(C_0)\right]\right\}}{\left[\sum(t_i - \overline{t}_i)^2\right]^2}$$

ISO 11665-7



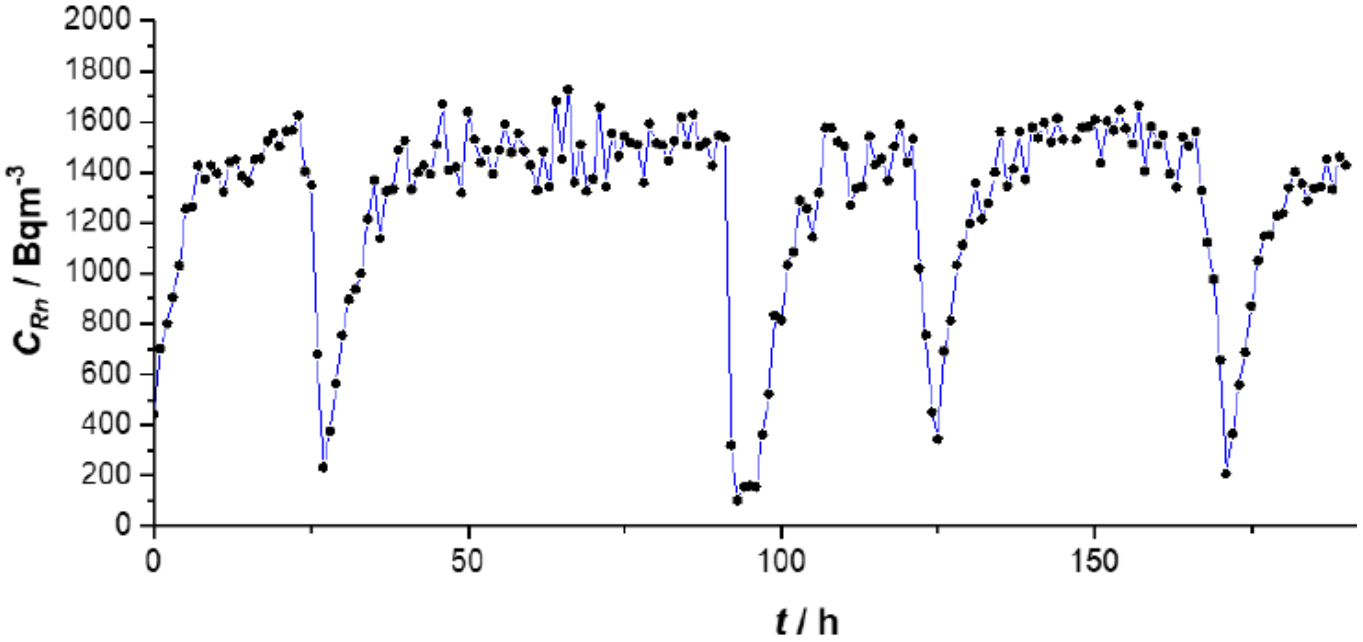


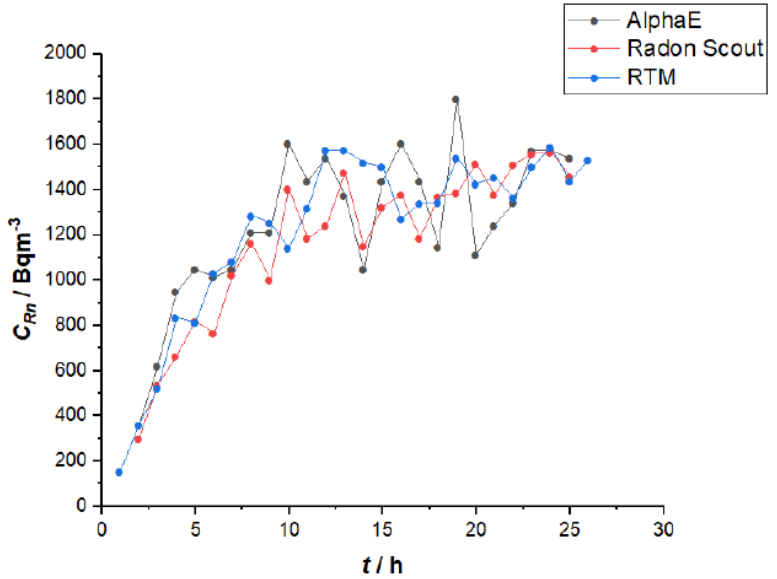
LaRUC
Laboratorio de Radiactividad Ambiental | Universidad de Cantabria

Australian Government | ANSTO Science. Ingenuity. Sustainability.

UPC UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH
Institut de Tècniques Energètiques

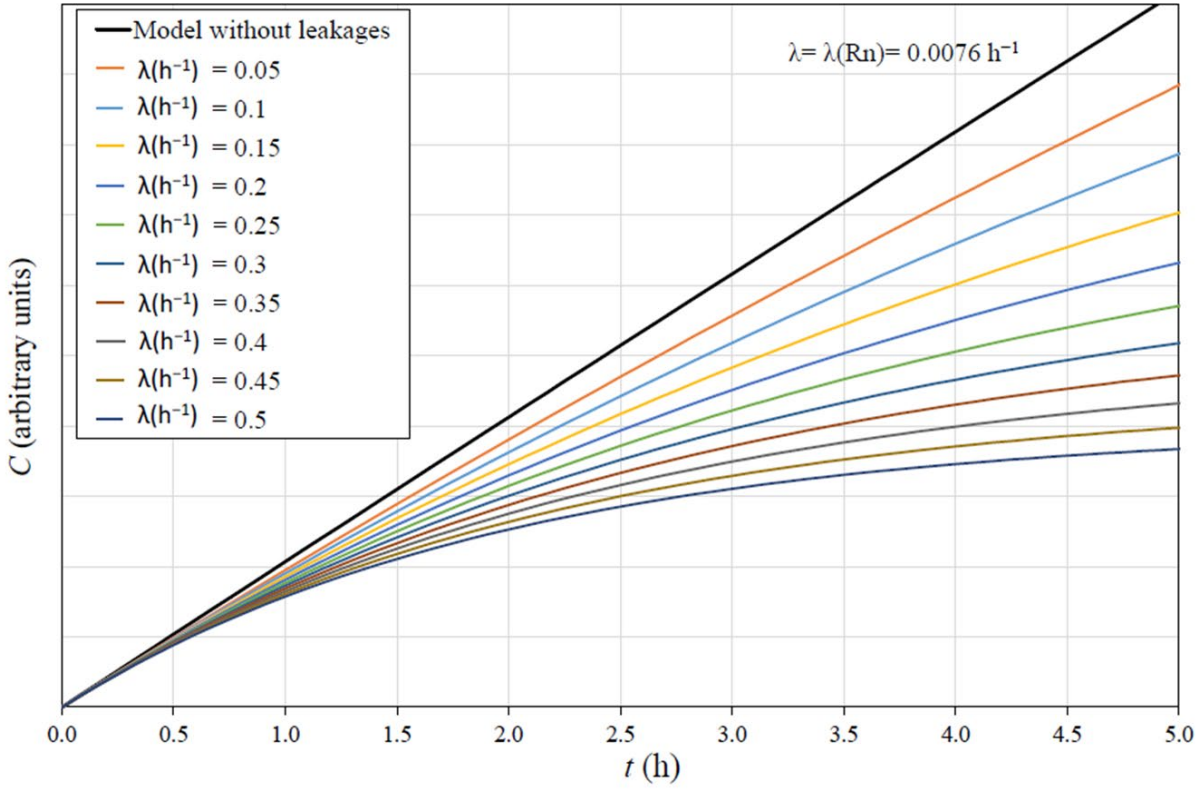
ISO 11665-7





	AlphaE	Radon Scout	RTM
Experimento	E/Bqm^{-2}h^{-1}	E/Bqm^{-2}h^{-1}	E/Bqm^{-2}h^{-1}
1	157 ± 63	109 ± 14	123 ± 10
2	91 ± 21	101 ± 13	94 ± 8
3	145 ± 32	86 ± 9	106 ± 9
4	137 ± 33	103 ± 12	115 ± 13
5	157 ± 43	135 ± 21	113 ± 7
Media	**137 ± 27**	**107 ± 18**	**110 ± 11**

ISO 11665-7



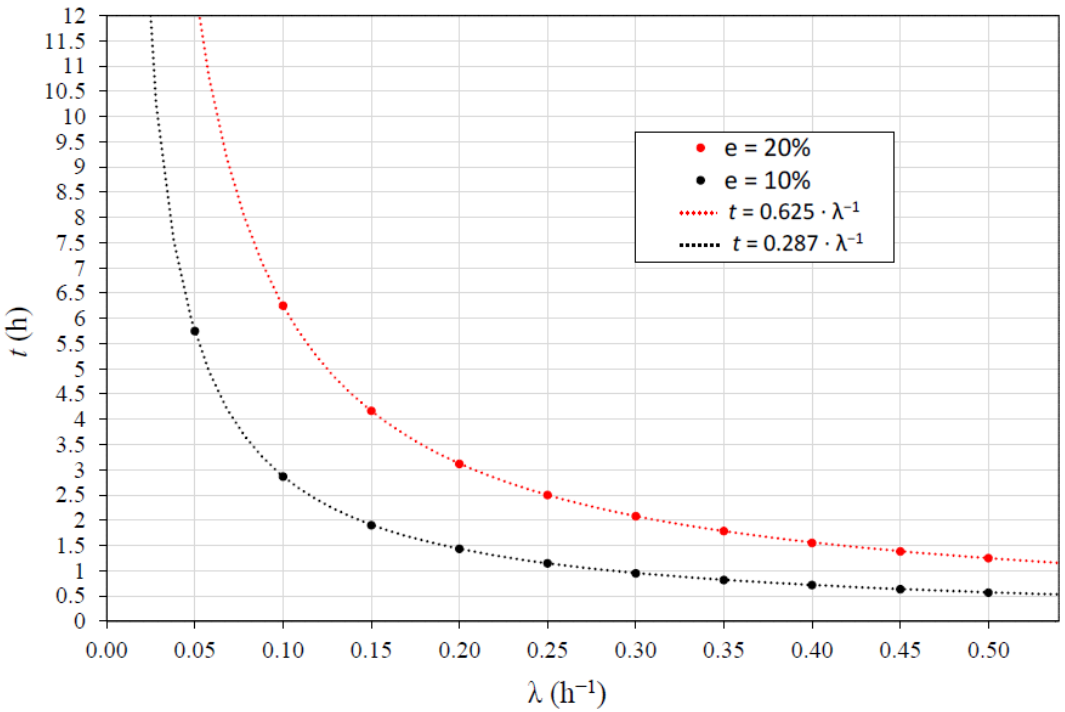


Figure 6. Theoretical estimation of time to be considered in the radon flux linear fitting calculation to not exceed a difference of 10% and 20%.

Rabago et al. 2022

ISO 11665-4

INTERNATIONAL STANDARD **ISO 11665-4**

Third edition
2021-03

Measurement of radioactivity in the environment — Air: radon-222 —

Part 4:
Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis

ISO 11665-4

4 Principle

Integrated measurement of the average radon activity concentration is based on the following elements:

a) continuous, passive sampling of an air sample representative of the atmosphere under investigation, by free convection and natural diffusion for a sensor in an open configuration (open to the air) or by natural diffusion for a sensor in a closed configuration (with an accumulation chamber);

b) simultaneous accumulation of a measurable physical quantity (etched tracks, electrostatic potential drop, radioactive atoms, etc.) on a suitable sensor;

c) measurement of the accumulated physical quantity with a direct link to the average radon activity concentration over the sampling period in question.

ISO 11665-4

Table 1 — Examples of sampling characteristics of the various measurement methods meeting the requirements of this document

Sensor	Annex (normative)	Sampling place	Sampling duration/ Exposure time
Solid-state nuclear track detector (open configuration)	A	Indoors	One week to several months
Solid-state nuclear track detector (closed configuration)		Outdoors or indoors	
Electret detector	B		Few days to several months
Activated charcoal	C		Few days

ISO 11665-4

The average radon activity concentration shall be calculated as given in Formula (1):

$$\overline{C} = (\mu - \mu_0) \cdot \omega \qquad (1)$$

μ	quantity to be measured
μ_0	background level
ω	correction factor linked to the calibration factor and the sampling duration

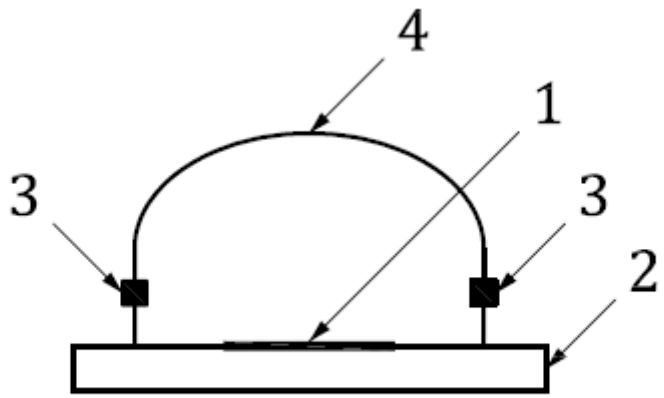
In accordance with ISO/IEC Guide 98-3, the standard uncertainty of $\overline{C}$ shall be calculated as given in Formula (2):

$$u(\overline{C}) = \sqrt{\omega^2 \cdot \left[u^2(\mu) + u^2(\mu_0)\right] + \overline{C}^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(\omega)} \qquad (2)$$

ISO 11665-4: SSNTD

Annex A
(normative)

Measurement method using a solid-state nuclear track detector (SSNTD)



b) Closed configuration

1 SSNTD
2 support
3 filter
4 accumulation chamber

ISO 11665-4: SSNTD

The average radon activity concentration is obtained from Formula (1). This yields Formula (A.1):

$$\bar{C} = \left(n_g - \bar{n}_b\right) \cdot \frac{1}{t \cdot S_{SSNTD} \cdot F_c} = \left(n_g - \bar{n}_b\right) \cdot \omega \text{ with } \omega = \frac{1}{t \cdot S_{SSNTD} \cdot F_c} \quad \text{(A.1)}$$

For the most accurate value, $\bar{n}_b$ is determined experimentally by reading n sensors that have not been exposed to radon and have been processed under the same physico-chemical and counting conditions. The value of $\bar{n}_b$ may also be given by the manufacturer.

F_c	calibration factor, in (tracks per square centimetre) per (becquerel hour per cubic metre)
n	number of solid-state nuclear detectors used for determining the background noise
n_g	number of tracks after exposure
$\bar{n}_b$	mean number of tracks caused by the background noise
S_{SSNTD}	SSNTD area used for counting the number of “etched tracks”, in square centimetres

ISO 11665-4: SSNTD

The standard uncertainty of $\bar{C}$ is obtained from Formula (2). This yields Formula (A.2):

$$u(\bar{C}) = \sqrt{\left(n_g + \frac{\bar{n}_b}{n}\right) \cdot \omega^2 + \bar{C}^2 \cdot u_{rel}^2(\omega)} \qquad \text{(A.2)}$$

with

$$u_{rel}^2(\omega) = u_{rel}^2(F_c) + u_{rel}^2(S_{SSNTD})$$

The uncertainty of the sampling duration is considered negligible.

ISO 11665-4: SSNTD

Ejercicio:

A.6.5 Example

The number of tracks for a sensor with a closed configuration exposed for 90 days (t = 2 160 h) is n_g =800 tracks.

The number of tracks, determined on 10 non-exposed sensors from the same batch, caused by the background noise over 90 days, is $\overline{n}_b$ =30 tracks.

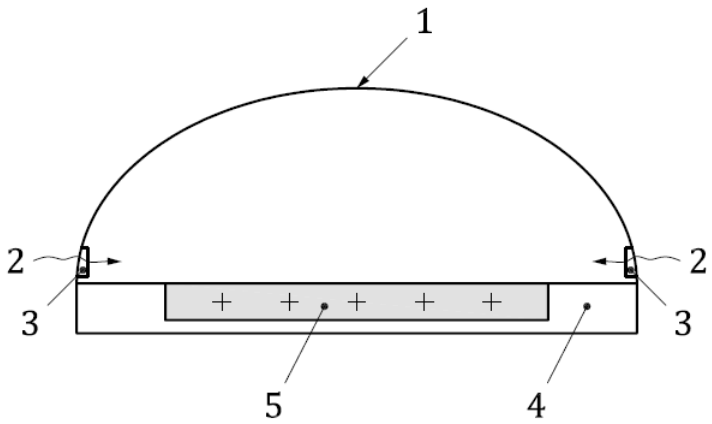
The determination of n_g and $\overline{n}_b$ is performed over the same area: S_{SSNTD} = 1 ± 0,1 cm^2.

The calibration factor is $F_c = (8 \pm 0,8) \times 10^{-4}$ tracks/cm^2 per Bq·h/m^3.

ISO 11665-4: Electretes

Annex B
(normative)

Measurement method using an electret detector



1 accumulation chamber
2 entry point of radon
3 filter
4 insulating support
5 electret detector

Table B.1 — Example of types of accumulation chamber and electret detector

Accumulation chamber		Electret detector	
Type	Volume ml	Type	Sensitivity
n	50	1	high
m	210	2	low

ISO 11665-4: Electretes

The average radon activity concentration is calculated as given in Formula (B.1):

$$\overline{C} = \frac{U_i - U_f}{F_c \cdot t} - B_G \qquad \text{(B.1)}$$

The calibration factor, F_c, is a function of the initial and final electret voltages.

NOTE The expression of F_c depends on the type of electret detector used.

The contribution by the ambient gamma radiation, in radon equivalent, B_G, is calculated as given in Formula (B.2):

$$B_G = f_{cor} \cdot \dot{D} \qquad \text{(B.2)}$$

ISO 11665-4: Electretes

In accordance with ISO/IEC Guide 98-3, the standard uncertainty of $\bar{C}$ shall be calculated as given in Formula (B.3):

$$u(\bar{C}) = \sqrt{2 \cdot \frac{1}{(F_c \cdot t)^2} \cdot u^2(U_i) + u^2(B_G) + (\bar{C} + B_G)^2 \cdot u^2_{rel}(F_c)} \qquad \text{(B.3)}$$

where the uncertainty of sampling duration t is considered negligible.

$$u^2(B_G) = f_{cor}{}^2 \cdot u^2(\dot{D}) + \dot{D}^2 \cdot u^2(f_{cor})$$

where the uncertainties of the correction factor f_{cor} and the average dose rate $\dot{D}$ are given by the manufacturer.

The electrometer reads the electret voltage to within 1 V and $u^2(U_i) = u^2(U_f) = 1/12$.

ISO 11665-4: Electretes

Ejercicio:

B.6.4 Example

This subclause shows an example of measurement performed with a high-sensitivity electret associated with a 50 ml accumulation chamber.

The calibration factor is calculated as given in Formula (B.4):

$$F_c = b + d \cdot \left(\frac{U_i + U_f}{2} \right) \qquad \text{(B.4)}$$

where the constants b and d, provided by the manufacturer, are:

$b = 2{,}94 \cdot 10^{-4}$ V/h per Bq/m^3

$d = 1{,}54 \cdot 10^{-7}$ h^{-1} per Bq/m^3

ISO 11665-4: Electretes

The relative uncertainty of the calibration factor F_c, provided by the manufacturer, is:

$$u_{\text{rel}}^2(F_c) = (0{,}06)^2$$

The chamber parameter is f_{cor} = 0,594 374 Bq/m^3/nGy/h.

The relative uncertainty of the chamber parameter f_{cor}, provided by the manufacturer, is:

$$u_{\text{rel}}^2(f_{\text{cor}}) = 9 \times 10^{-4}$$

The initial electret voltage is U_i = 530 V

The final electret voltage after exposure is U_f = 500 V.

Sampling duration is t = 336 h.

The average dose rate during exposure is $\dot{D}$ = 100 nGy/h.

Referencias

- Norma ISO/IEC 17025:2005(es) - Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración

- ISO 11665-4:2021. Measurement of radioactivity in the environment — Air: radon-222 — Part 4: Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis

- UNE-EN ISO 11665-7:2016. Medición de la radiactividad en el ambiente. Aire: radón-222. Parte 7: Método de acumulación para estimar la tasa de exhalación en superficie. (ISO 11665-7:2012).

- Rábago, D., Quindós, L., Vargas, A., Sainz, C., Radulescu, I., Ioan, M. R., ... & Grossi, C. (2022). Intercomparison of radon flux monitors at low and at high radium content areas under field conditions. International journal of environmental research and public health, 19(7), 4213.

- Rodima, A., Vilbaste, M., Saks, O., Jakobson, E., Koort, E., Pihl, V., ... & Leito, I. (2005). ISO 17025 quality system in a university environment. Accreditation and quality assurance, 10(7), 369-372.

Legislación sobre radiactividad ambiental y radón

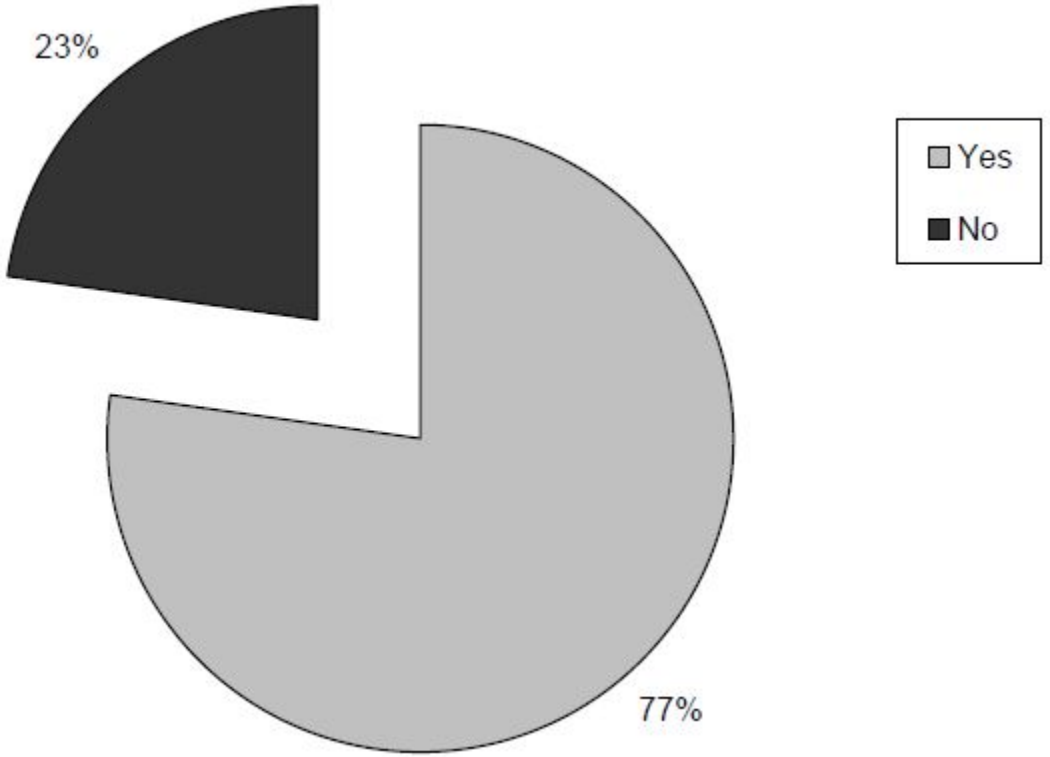
Jorge Laguna, Jorge.Laguna@flhealth.gov
Administrador Ambiental
Oficina de Control de Radiación de Florida
Estados Unidos

Objectivo

Breve resumen de las normas de radón

- Estados unidos tiene un nivel de acción de 150 Bq/m3
- Otros países europeos recomiendan mitigar a mas de 200 o 300 Bq/m3

Países con Normas de Radón



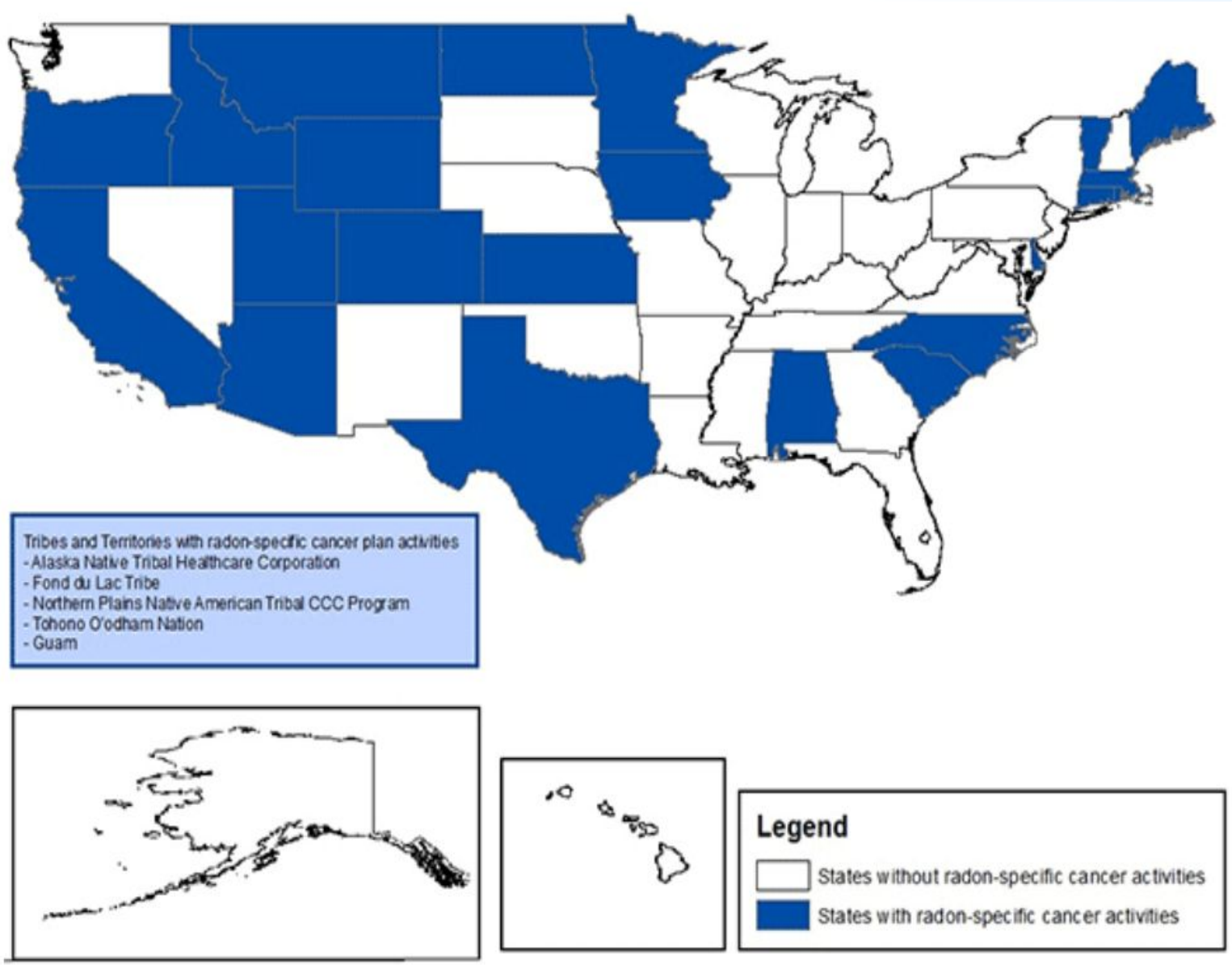
INTERNATIONAL RADON PROJECT - SURVEY ON RADON GUIDELINES, PROGRAMMES AND ACTIVITIES - Geneva, 2007

Países con Normas de Radón

- Los niveles objetivo especificados después de la mitigación se establecen por debajo del nivel de referencia en ciertos países

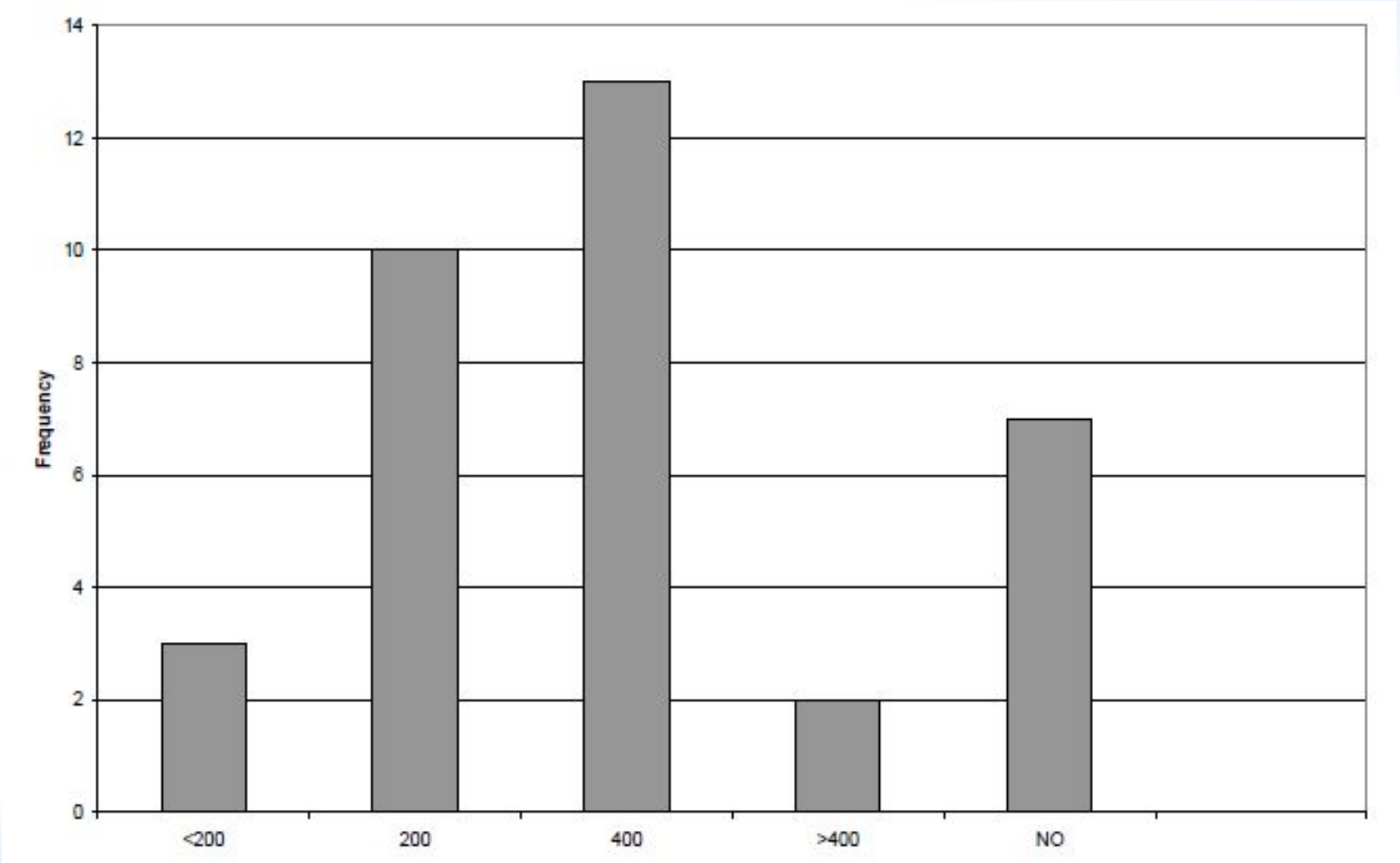
- Varios no especifican dichos niveles. Recomiendan la reducción máxima de radón (ALARA) prácticamente posible

Estados con Normas de Radón



- 27 estados con actividades de plan contra el cáncer de radón
- 11 (41%) están alineados con una ley sobre el radón relacionada con la concientización sobre el radón como un problema
- 4 (15%) tenían tanto una actividad de plan contra el cáncer como una ley relacionada con el aumento de las pruebas
- 9 (33%) tenían actividades y leyes alineadas relacionadas con la mitigación del radón.

Niveles de Referencia del radón en edificios Existentes (Bq/m3)

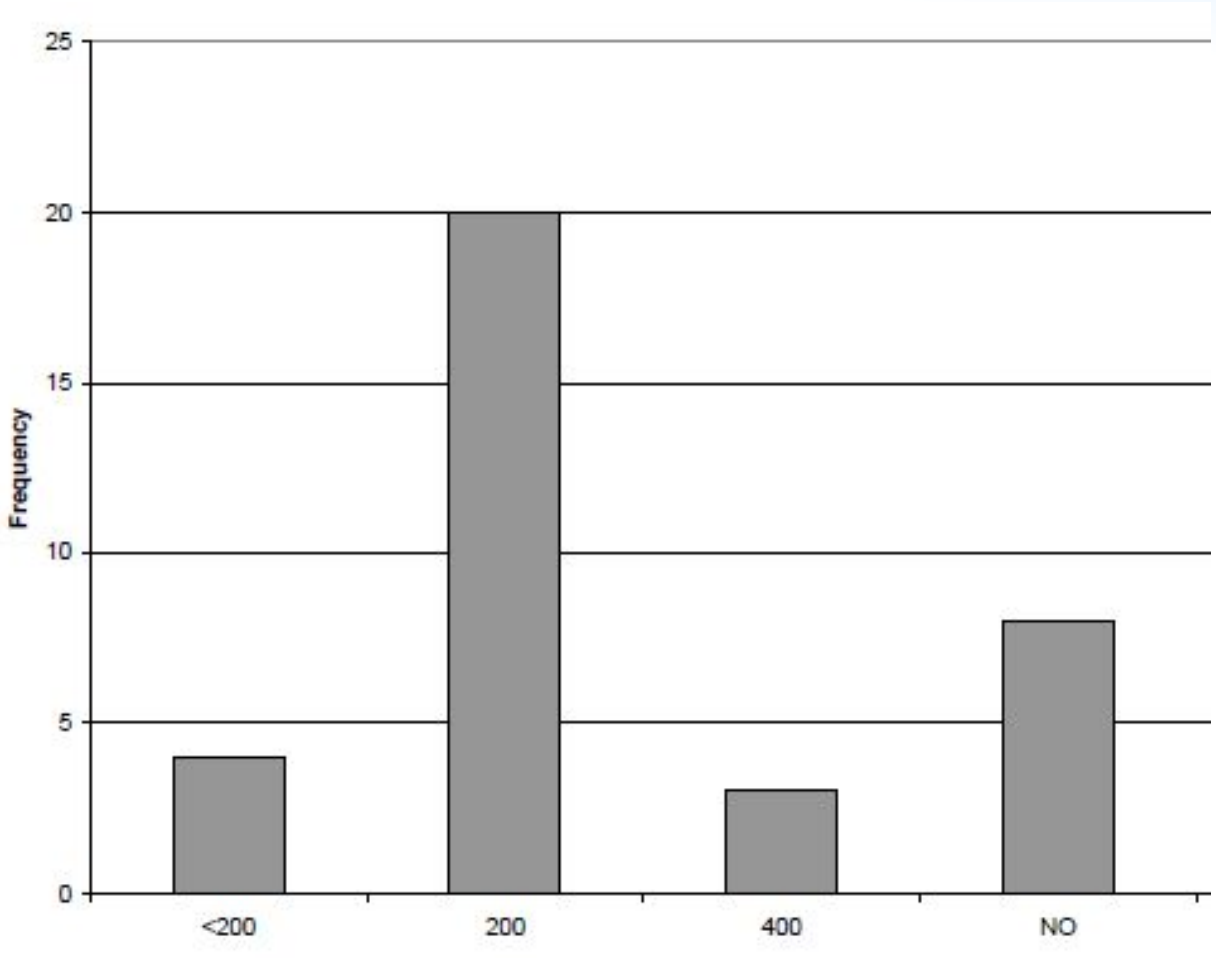


1 WL = 100 pCi/L = 3700 Bq/m3 Bequerelios - RANGE 5-11 pCi/L

Niveles de Referencia del radón en edificios Existentes (Bq/m3)

- Varios países como Noruega y Suiza definen bajos niveles
  - **50** Bq/m3 **construcción** de nuevos edificios
  - **100** Bq/m3, **mitigación** o instalación de medidas preventivas (construcción resistente al radón)

Niveles de Referencia del radón en edificios Nuevos (Bq/m3)



Niveles de Referencia del radón en edificios Nuevos (Bq/m3)

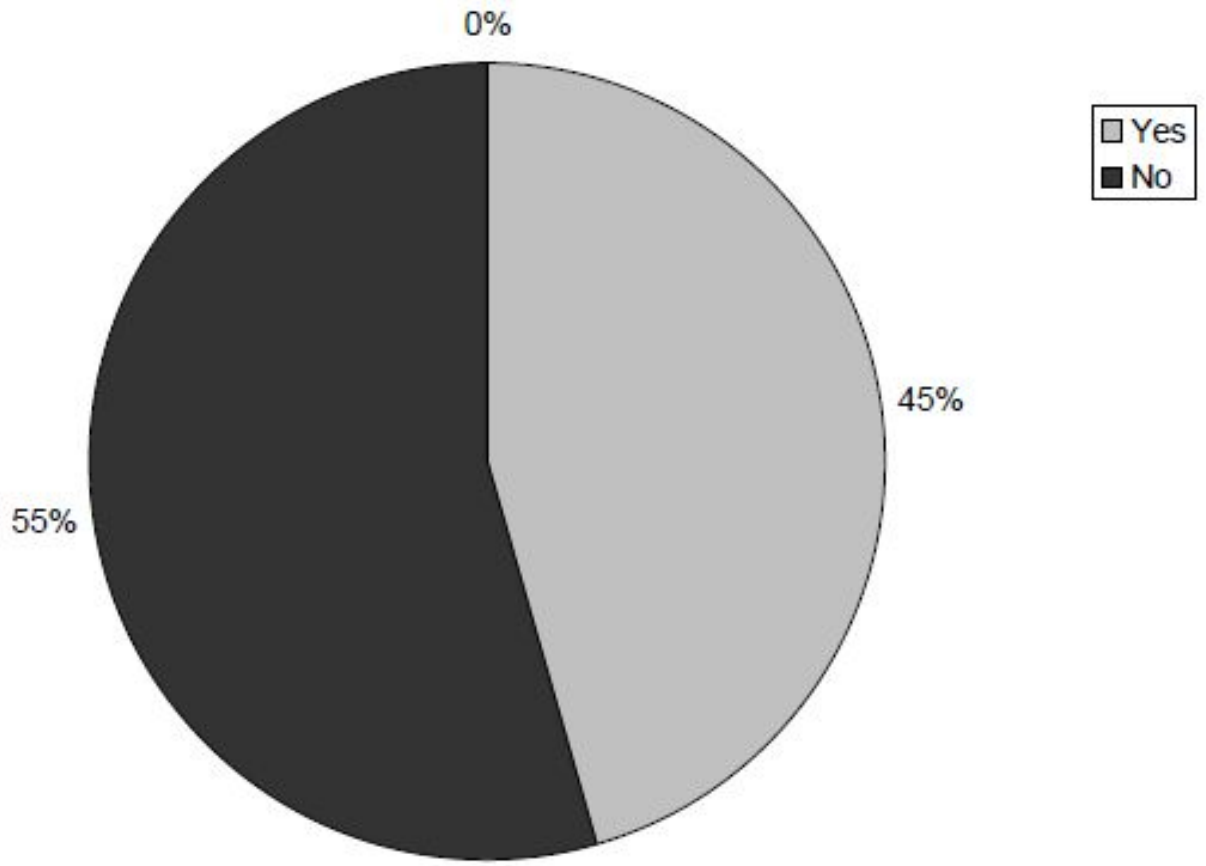
- 15 de 33 países indican que tienen reglas de construcción para edificios nuevos establecidos
- El efecto de estos códigos no se ha evaluado científicamente,
  - resultados en general indican un efecto positivo para reducir las concentraciones de radón

Niveles de Referencia del radón en edificios Nuevos (Bq/m3)…

- En pocos países (9%) la medición del radón durante la construcción de nuevos edificios es obligatoria
- La carga financiera de la mitigación y el trabajo de prevención del radón es asumida exclusivamente por el propietario.

  Pocos países, especialmente **Bélgica** y la **República Checa** tienen sistemas de subvención

Códigos de Construcción Para viviendas Nuevas



- 1 WL = 100 pCi/L = 3700 Bq/m3 - RANGE 5-11 pCi/L

Códigos de Construcción Para Viendas Nuevas en el Mundo

- 45% países tienen códigos de construcción para viviendas
- La proporción de países que requieren información general sobre el radón o las mediciones del radón en las transacciones relacionadas a:
  - edificios nuevos es mayor (6 de 29 paises) que la
  - proporción de edificios existentes (2 de 29 paises)

Legislación Federal (EEUU)

- Legislación Federal de Radón, Sección 305, Titulo III,
  Indoor Radon Abatement,
  Toxic Substance Control Act (EPA)
  - Objetivo nacional del radón
  - Guía de EPA a los ciudadanos sobre el radón
  - Asistencia a los Estados
  - Radón en las escuelas

REGULACIONES

- Promueven empresas de radón y la salud pública sin afiliación política
- Se promulgan regulaciones que exigen la notificación del radón antes de la venta de bienes inmuebles
- Enero se reconoce como el mes de la concienciación sobre el radón

REGULACIONES

- Se presentaron 60 proyectos de ley:
  - Ocho sobre la divulgación del radón del propietario a los inquilinos - vendedores de propiedades deben revelar información sobre la concentración de radón en la vivienda a los compradores
  - Cuatro sobre la construcción resistente al radón en nuevas casas - contratistas de construcción pueden instalar características resistentes al radón sin certificación

REGULACIONES

- Se presentaron 60 proyectos de ley:
  - Ocho sobre la divulgación del radón…
  - Cuatro sobre la construcción contra el radón…
  - Nueve sobre el radón en las escuelas - Informes y pruebas de radón en las escuelas - Notificación a padres y estudiantes sobre los peligros ambientales del radón
  - Implementación de un plan de mitigación de radón en centros de cuidado infantil

REGULACIONES

- 34 de 50 estados han promulgado leyes sobre radón
- 29 estados exigen la divulgación de los peligros del radón al vender una casa
- Nueve estados exigen que las nuevas construcciones sean resistentes al radón
- 23 estados tienen códigos localizados que exigen una construcción resistente al radón

REGULACIONES

- El radón es parte del código de construcción en 27 estados
- La Ley de Seguridad Química Lautenberg revisa la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA) para mejorar el proceso de la EPA de evaluación y gestión de sustancias químicas. Las secciones 304 a 311 prevén asistencia técnica, subvenciones y estudios para agencias estatales y federales para abordar problemas relacionados con el radón, incluyendo la reducción del radón en interiores de escuelas y hogares
- Contó con apoyo bipartidista en el Congreso de Estados Unidos

REGULACIONES - Florida

- Legislación de radón en Florida, Sección 404.056, Estatutos de la Florida
  - Estándares y programas de radiación ambiental
  - Protección contra el radon
- Código Administrativo de la Florida 64E-5
  - Requisitos de radón (certificación)
  - Mediciones obligatorias de radón

REGULACIONES…

- Protocolos de medición de radón obligatorios DH\PI 150-334
  - Mediciones Residenciales
  - Mediciones no residenciales
  - Requisitos de reportar los resultados de medición (importante para estudios)

Legislación del Radón en Florida
F.S. 404.056(1)

- Estándares de radiación ambiental
  - Autoriza al Departamento de Salud de Florida a establecer estándares de radiación ambiental para edificios
  - Autoriza al departamento a realizar programas para reducir la exposición humana a la radiación ambiental

Sección del Código Administrativo de la Florida 64E-5, Part XA, Estándares de radiación para edificios

- La exposición del público a la radiación natural se mantendrá lo más baja posible - Nivel de fondo promedio
  - Radiacion Gamma en edificios = 6 microroentgens/hora (uR/hr)
  - Concentracion PDR en edificios = 0.004 Working Level (WL)
  - 148 Bq/m3

- 1 WL = 100 pCi/L = 3700 Bq/m3 Bequerelios - RANGE 5-11 pCi/L

Legislación del Radón en Florida
F.S. 404.056(1)…

- Programas para reducir la exposición humana
  - Publico ALARA (lo más baja posible)
  - Programa de salud y seguridad para limitar la exposición de los empleados a la progenie del radón durante el transcurso de empleo
  - Medidas para mantener la exposición de cada empleado, que no excederá 4 WLM por año, ALARA.

Legislación del Radón en Florida
F.S. 404.056(2)

- Certificación
  - Autoriza a el departmento a establecer un programa de certificación
  - Requiere certificación de las personas que realizan mediciones de radón o la mitigación de edificios cuando se recibe una tarifa u otra remuneración
  - Fraude, engaño, mala representación pueden dar penalidades de delito grave de tercer grado

Legislación del Radón en Florida
F.S. 404.056(2)…

- Certificación…
  - Los resultados de las mediciones o de sistemas de mitigación realizadas por personas certificadas en Florida se informará a los clientes y al departamento
  - Establece tarifas anuales de certificación

Legislación del Radón en Florida
F.S. 404.056(2)

- Certificación…

  – A los violadores de la ley:
    - El departamento puede **negar o revocar** una certificación o renovación de certificación
    - Puede imponer una **multa administrativa** que no exceda **$1,000** por violación por día

Legislación del Radón en Florida
F.S. 404.056(2)

- Certificación…

  – A los violadores de la ley…
    - El **fraude, el engaño** o la mis-representación en la provisión de medición o mitigación del radón pueden dar lugar a penalidades (**delito** grave de **tercer grado**)

Legislación del Radón en Florida
F.S. 404.056(3)

- Información pública
  - El departamento administrará un programa para educar e informar al público sobre el radón
  - El programa incluirá, el origen y los efectos de salud del radón, cómo medir el radón y las técnicas de construcción y mitigación para reducir la exposición al radón
  - **http://radon.floridahealth.gov**

Legislación del Radón en Florida
F.S. 404.056(4)

- Pruebas obligatorias
  - Instalaciones reguladas ubicadas en condados con áreas de potencial de radón intermedio o elevado

Legislación del Radón en Florida F.S. 404.056(4)…

- Pruebas obligatorias…
  - Escuelas Publicas y Privadas K-12
  - Centros de cuidado de 24 horas (hospitales, hogares de ancianos, hogares de asistencia a ancianos, etc.)
  - Guarderias para niños

Legislación del Radón en Florida
F.S. 404.056(5)

- Notificación en documentos inmobiliarios
  - Todos los contratos de alquiler y venta de edificios con ocupación superior a 45 días deben incluir una divulgación de radón

Competencia Nacional

- Programas nacionales de competencia y certificación de radón
  - El Programa de Competencia de Radón de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) funcionó durante aproximadamente 10 años
  - Dejó de funcionar en 1998. El programa ha sido privatizado (acuerdo cooperativo con los estados)

Competencia Nacional…

- Programas nacionales de competencia y certificación de radón
  - Junta Nacional de Seguridad del Radón (National Radon Safety Board - NRSB)
  - Programa Nacional de Competencia en Radón (National Radon Proficiency Program - NRPP)

Competencia Nacional…

- Programas nacionales de competencia y certificación de radón
  - Certificación de Proveedores de Servicio de Radón, Acreditación de Cámaras y Laboratorios de Radón, y la Aprobación de Dispositivos de Medición

Nivel de Referencia (Acción) en EEUU

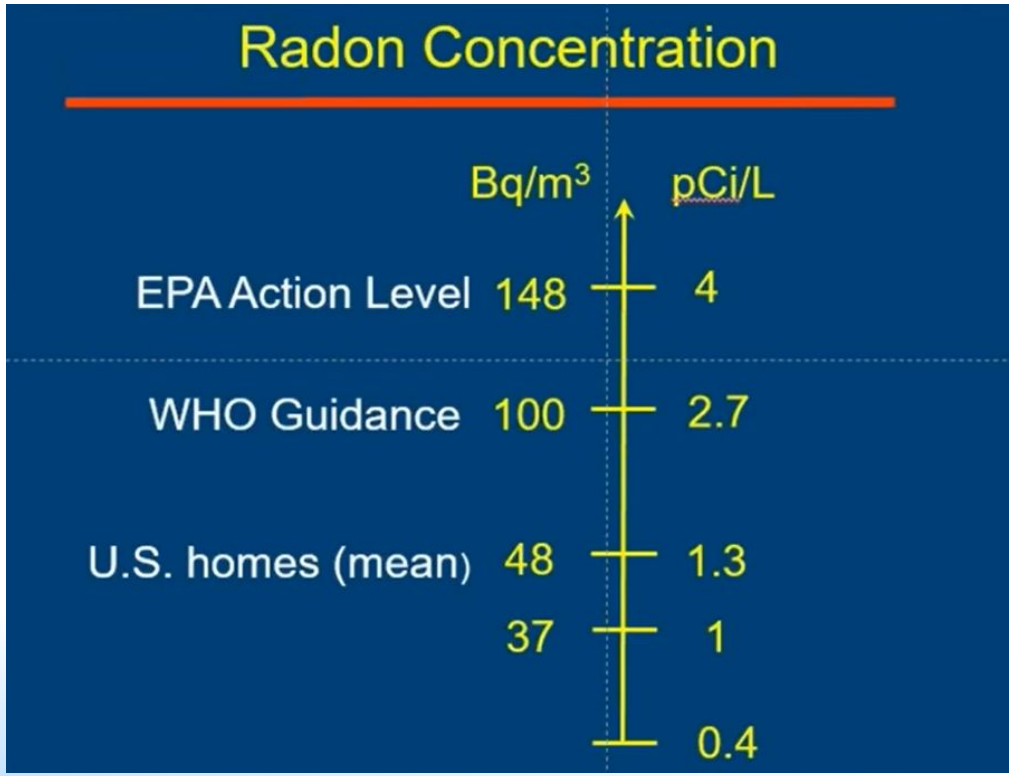
La Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. Recomendó que el nivel de acción para el radón fuese de **148 Bq/m^3** (4 pCi / L)



Objetivo - tener niveles de radón en interiores tan bajos como sea posible.

No es una guía basada en la salúd

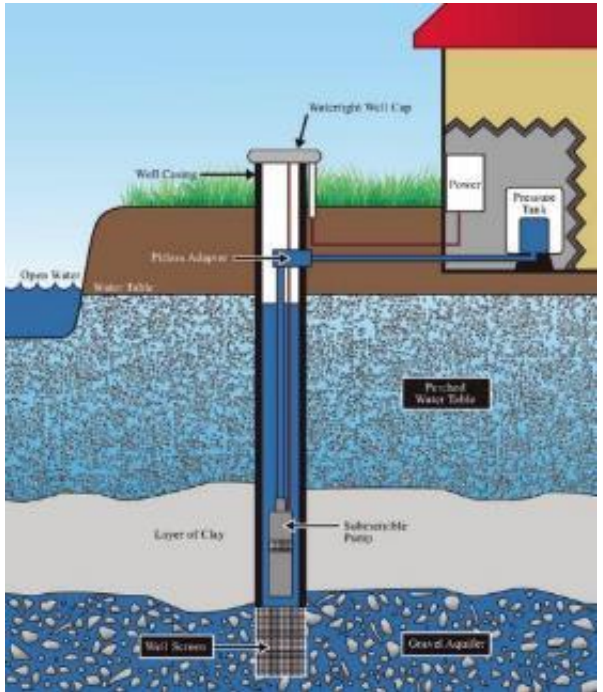
- Riesgo 1/10,000 o 1/100,000
- Riesgo del Rn a 4 pCi/L es 6/100 fumadores, 7/1,000 No-fumadores



Niveles de Radón Contaminante

- La regla estándar para el uranio es de 30 microgramos por litro (30 µg/L)

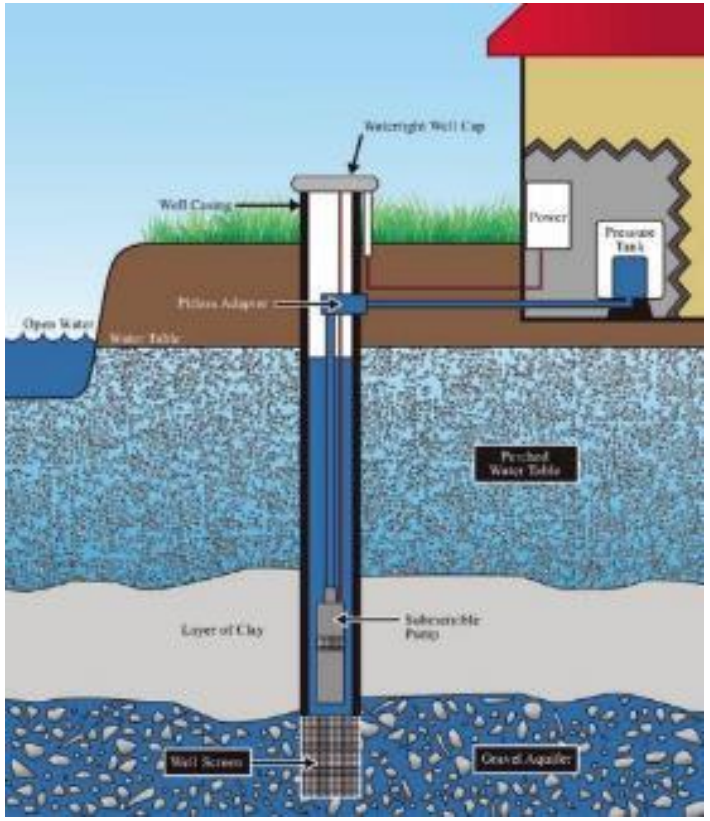
  - El **Departamento de Protección Ambiental** tiene la función principal de regular los sistemas públicos de **agua** en Florida. La autoridad se deriva del Capítulo 403, Parte IV, de los Estatutos de Florida



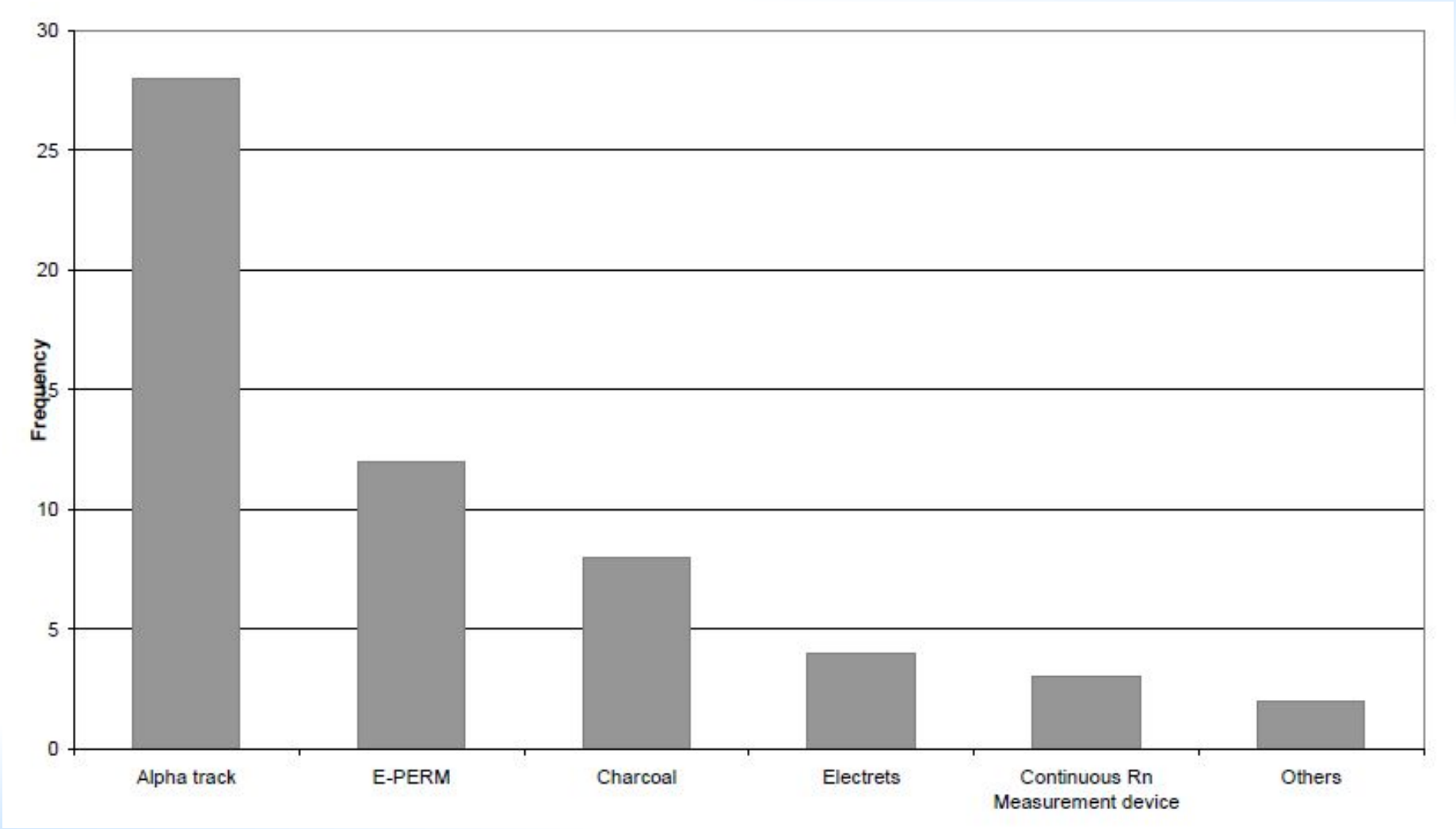
Niveles de Radón Contaminante

- El estándar para la actividad de partículas **alfa** bruta es de **15** pCi/L (555 Bq/m3)

- El estándar para el **radio** no es la cantidad del químico, sino la **cantidad de radiación** emitida por las dos formas más comunes (llamadas **isótopos**)
- El estándar para el **radio combinado** es de **5** pCi/L (185 Bq/m^3)



Detectores Usados Para Medir el Radón



Protocolo obligatorio de pruebas de radón

- Proporciona procedimientos de medición
- Se utiliza para cumplir con los requisitos legales de la norma 404.056 F.S.
- Puede identificar estructuras con potencial de concentraciones elevadas de radón



Protocolo obligatorio de pruebas de radón

- La sección 404.056 tiene requisitos de plazo específicos

- Las agencias de licencias pueden exigir pruebas de cumplimiento con la sección 404.056 que justifiquen los plazos de presentación de sus reportes



Protocolos de medición

- Basado en transacciones inmobiliarias
- Prueba durante horas ocupadas
- Al menos 48 horas de medida – no es muy bueno
- Considere diferentes temporadas



¿Qué pasa si el resultado es ≥ 150 Bq/m^3?

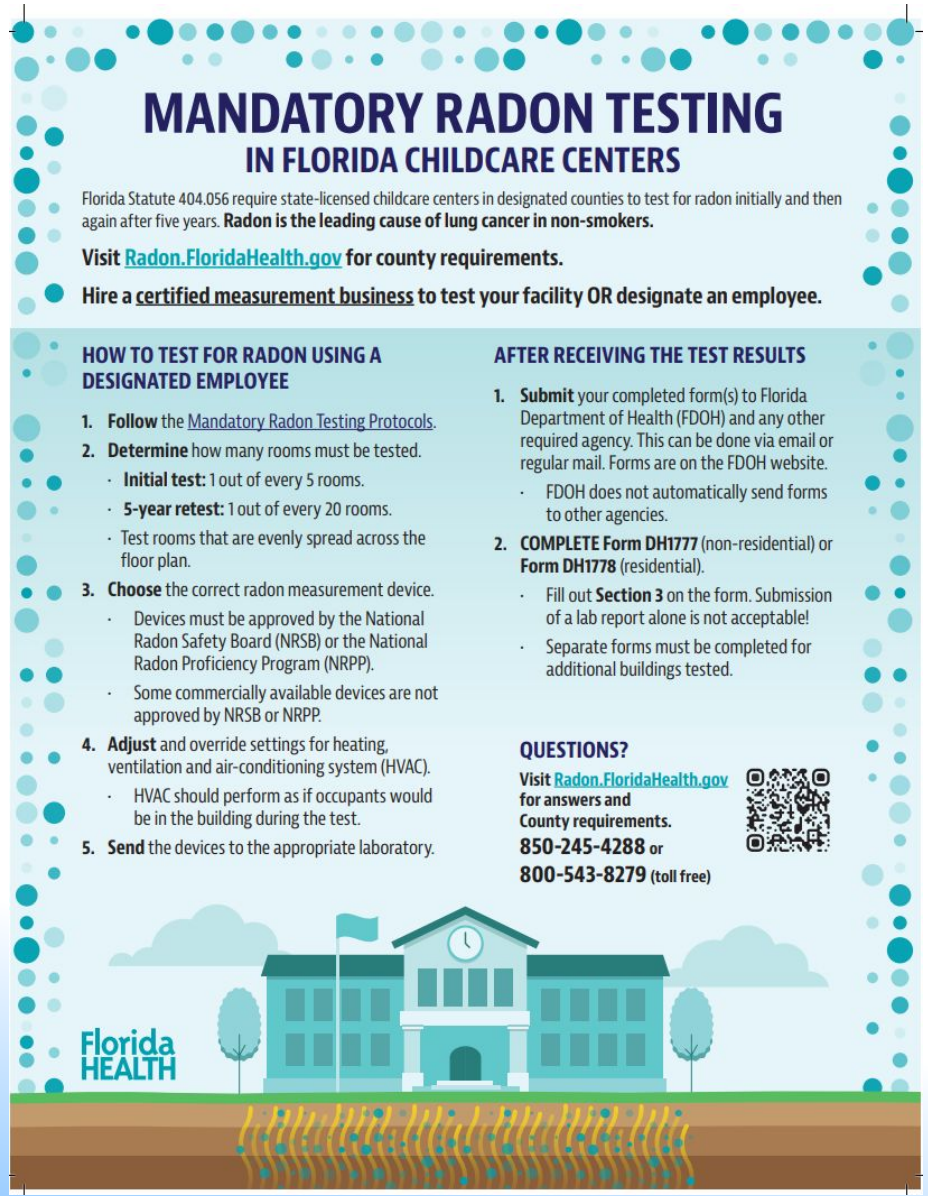
- Prueba de nuevo utilizando dispositivo de corto o largo plazo
- Si el promedio de las dos mediciones está entre 75 y 150 o más corríjalo
- Si el resultado del dispositivo a largo plazo es 50 o más, corríjalo.



Comunicación de Riesgos del Radón y Educación Pública

- Casi todos los países utilizan diversas formas de actividades de **comunicación** sobre el **riesgo** al radón
- Dirigidas a **diferentes audiencias**, como el público en general, los hogares en áreas de alto contenido de radón, los grupos profesionales y las agencias gubernamentales

Comunicación de Riesgos del Radón y Educación Pública…



MANDATORY RADON TESTING
IN FLORIDA CHILDCARE CENTERS

Florida Statute 404.056 require state-licensed childcare centers in designated counties to test for radon initially and then again after five years. **Radon is the leading cause of lung cancer in non-smokers.**

Visit Radon.FloridaHealth.gov for county requirements.

Hire a certified measurement business to test your facility OR designate an employee.

HOW TO TEST FOR RADON USING A DESIGNATED EMPLOYEE

1. **Follow** the Mandatory Radon Testing Protocols.
2. **Determine** how many rooms must be tested.
   - **Initial test:** 1 out of every 5 rooms.
   - **5-year retest:** 1 out of every 20 rooms.
   - Test rooms that are evenly spread across the floor plan.
3. **Choose** the correct radon measurement device.
   - Devices must be approved by the National Radon Safety Board (NRSB) or the National Radon Proficiency Program (NRPP).
   - Some commercially available devices are not approved by NRSB or NRPP.
4. **Adjust** and override settings for heating, ventilation and air-conditioning system (HVAC).
   - HVAC should perform as if occupants would be in the building during the test.
5. **Send** the devices to the appropriate laboratory.

AFTER RECEIVING THE TEST RESULTS

1. **Submit** your completed form(s) to Florida Department of Health (FDOH) and any other required agency. This can be done via email or regular mail. Forms are on the FDOH website.
   - FDOH does not automatically send forms to other agencies.
2. **COMPLETE Form DH1777** (non-residential) or **Form DH1778** (residential).
   - Fill out **Section 3** on the form. Submission of a lab report alone is not acceptable!
   - Separate forms must be completed for additional buildings tested.

QUESTIONS?

Visit Radon.FloridaHealth.gov for answers and County requirements.

850-245-4288 or

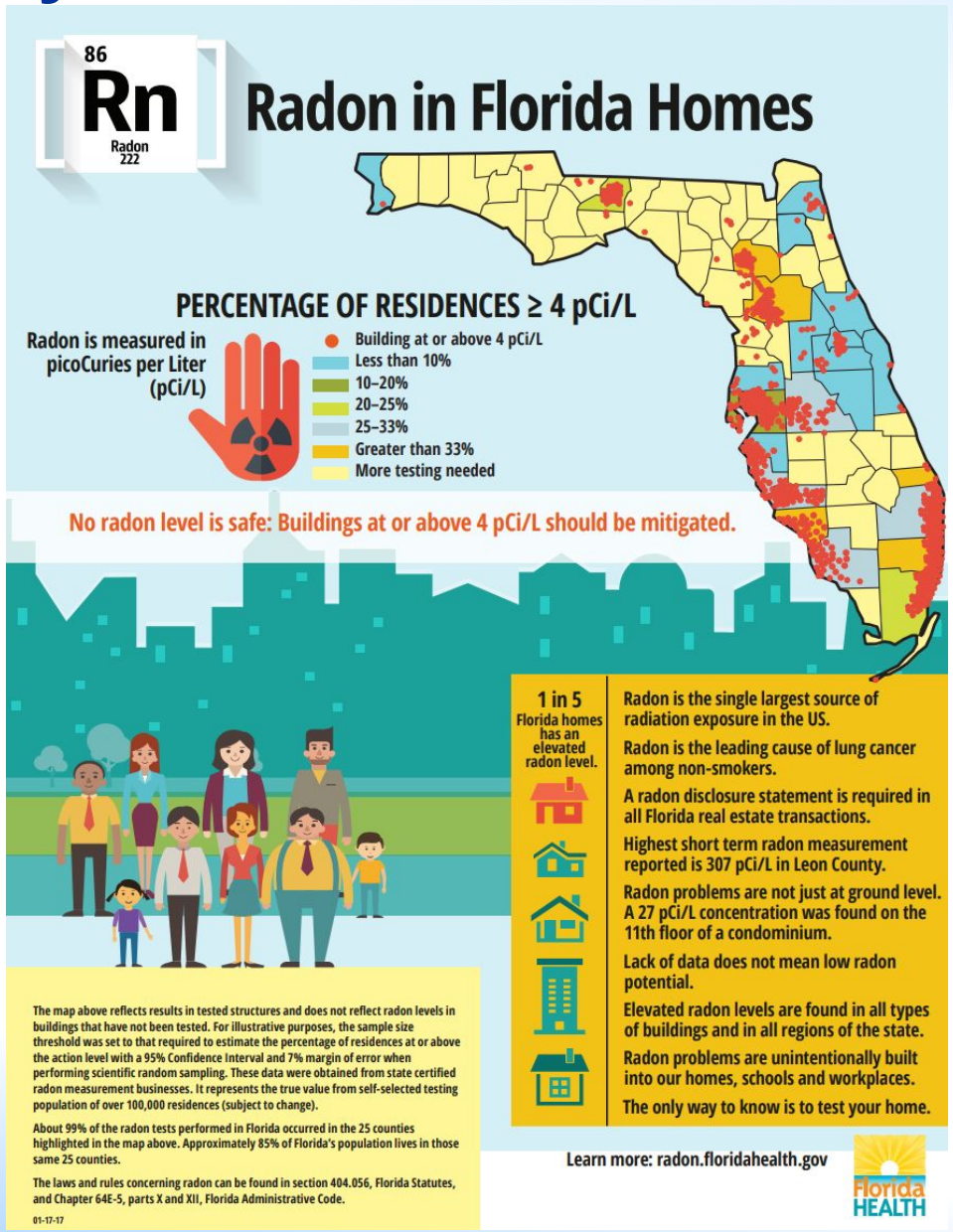
800-543-8279 (toll free)

Florida HEALTH

- Los métodos utilizados varían de folletos, revistas, videos, TV deportes, exposiciones, presentaciones, Internet, etc.
- Pruebas obligatorias en guarderías

Comunicación de Riesgos del Radón y Educación Pública…





Público general

Comunicación de Riesgos del Radón y Educación Pública…



Sell Homes that are Safe and Healthy.

A home should be a safe haven. Home buyers want a home that will stand up to storms. They look for healthy and safe neighborhoods. But a hidden hazard, radon, is found. One in every five homes tested in Florida has elevated radon levels, these levels have been found in every area in Florida in all building types.

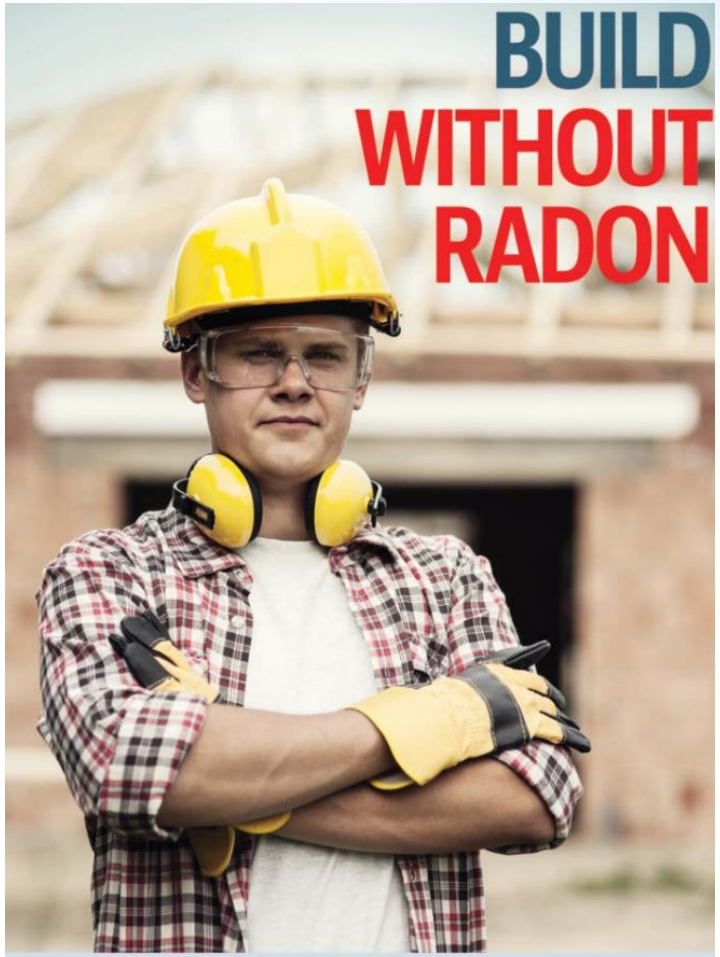
Radon is a naturally occurring, odorless, tasteless, radioactive gas that comes from soil, rock and earthen construction materials. It mixes with indoor air and can build up to elevated levels. Residential exposure to elevated radon levels can have serious health effects, radon is the second leading cause of lung cancer after smoking.

Radon related lung cancer claims the lives of 21,000 Americans each year. Florida Department of Health data indicates that each year there has been enough preventable radiation exposure from indoor radon to induce 1800 future preventable lung cancer deaths.

86
Rn
Radon
222

ALWAYS DISCLOSE

A disclosure statement about radon is required on Real Estate Documents [Section 404.056(5), Florida Statutes (F.S.)]: a notification shall be provided "at time of, or prior to, contract for sale and purchase of any building or execution of a rental agreement."



What if one out of five homes you built had water leaks?

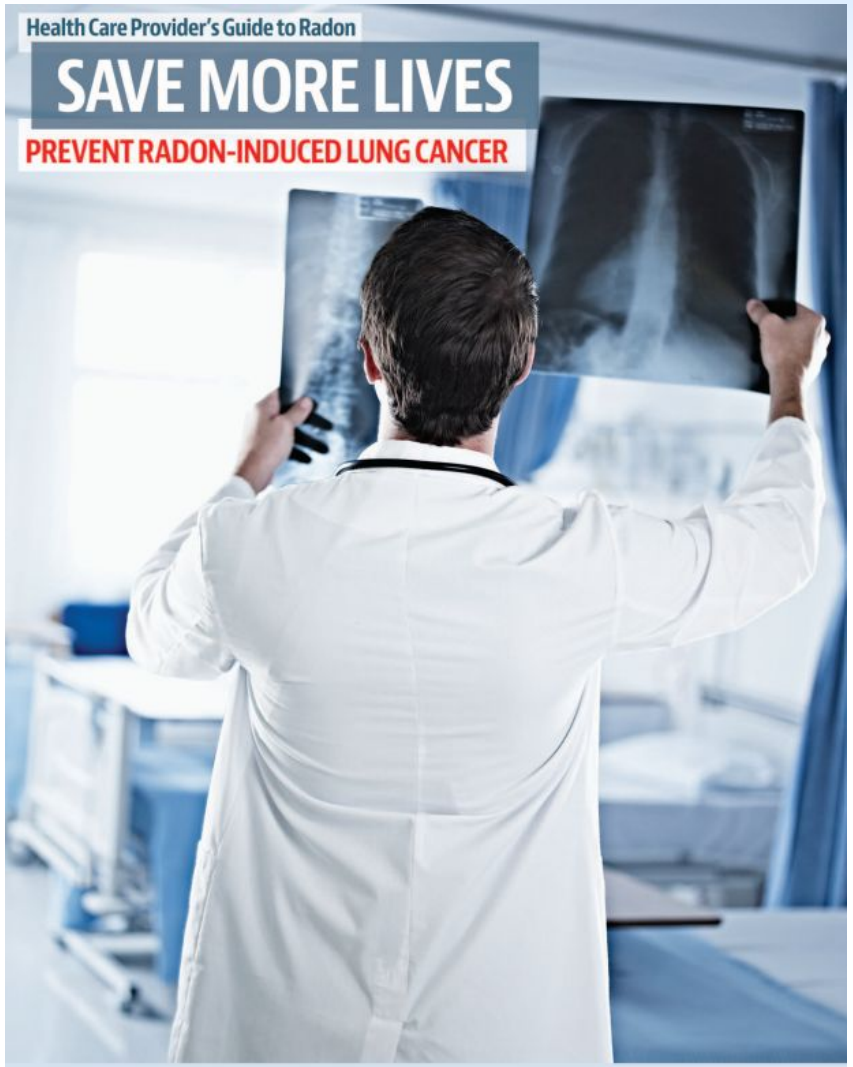
Would you do something to change your construction practice? In Florida, about one out of five homes tested has high radon levels. This applies to different types of residential structures. High radon levels have been found in single-family homes, coach homes, apartment buildings and in all floors of high-rise condominiums.

86
Rn
Radon
222

Bienes y raíces

Constructores

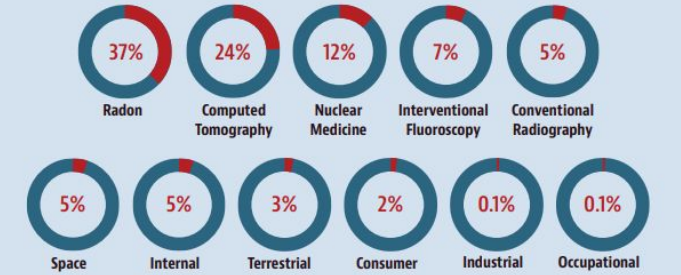
Comunicación de Riesgos del Radón y Educación Pública…



Why should my patients know about radon?

Radon is the leading cause of lung cancer among non-smokers, and the leading environmental cause of cancer mortality. For patients who smoke, exposure to radon and tobacco smoke increases their risk for lung cancer. Reducing lung cancer risk from radon exposure is a health intervention that does not require behavior change.





What is radon?

Radon is an odorless, colorless, tasteless radioactive gas with a half-life of almost four days. Radon is decay product of radium naturally found in soil, rock and construction materials, such as concrete. According to the National Council on Radiation Protection and Measurement, indoor radon exposure is the largest contributor to radiation in the U.S. On average, radon accounts for 37% of a person's total annual dose of ionizing radiation, as seen in the graphic above.

What are the health effects?

Radon is a "class A" carcinogen that causes lung cancer. Radon gas can seep through cracks, plumbing/electrical holes, and construction joints of homes. Radon and its decay products inhaled into the lungs irradiate the cells of the mucous membrane, bronchi and other pulmonary tissues damaging DNA, increasing genetic mutations and the risk of developing lung cancer.

What are the extent of radon problems in Florida?

In Florida, one in five homes tested has elevated radon levels and can be in many types of structures, such as old homes, new homes, and high-rise condominiums.

Radon-induced lung cancers are estimated to represent 13% of all lung cancers contributing 21,000 lung cancer deaths per year.

How are radon levels determined?

Testing is the only way to determine the amount of radon in a structure. Indoor air radon levels are measured using test kits from either a hired state certified professional or by purchasing a kit from a local home improvement store. If elevated levels (4 pCi/L or above) are found, a mitigation system can reduce radon exposure.

How can I help my patients?

Inform your patients by adding a question about radon on your patient history form and open the conversation: "Have you tested your home for radon?" Encourage your patients to test their homes for radon and mitigate if high levels are found.

For more information and educational materials about radon, visit our website at radon.floridahealth.gov or contact the Department of Health's Radon and Indoor Air Program at the number below.

Learn more. Contact the Radon Program at 800-543-8279.

Florida HEALTH

Proveedores de salud

Comunicación de Riesgos del Radón y Educación Pública…

- Menos de 10 países informaron haber evaluado actividades específicas de riesgo de radón

- Experiencia en la Florida (público en general, constructores, agentes de bienes raíces, proveedores de atención médica, medios de comunicación social etc.)



El plan nacional de acción contra el radón

Una estrategia *para* salvar vidas

Desarrollado a través de los esfuerzos conjuntos de

Asociación Americana del Pulmón

Asociación Americana de Científicos y Tecnólogos de Radón

Sociedad Americana de Inspectores de Viviendas

Sobrevivientes de Cáncer contra Radón

Red de Salud Ambiental Infantil

Ciudadanos para la Reducción de Radón

Congreso de Directores de Programas para el Control de Radiación

Instituto de Derecho Ambiental

Centro Nacional para Vivienda Saludable

Agencia de Protección Ambiental

Departamento de Salud y Servicios Humanos

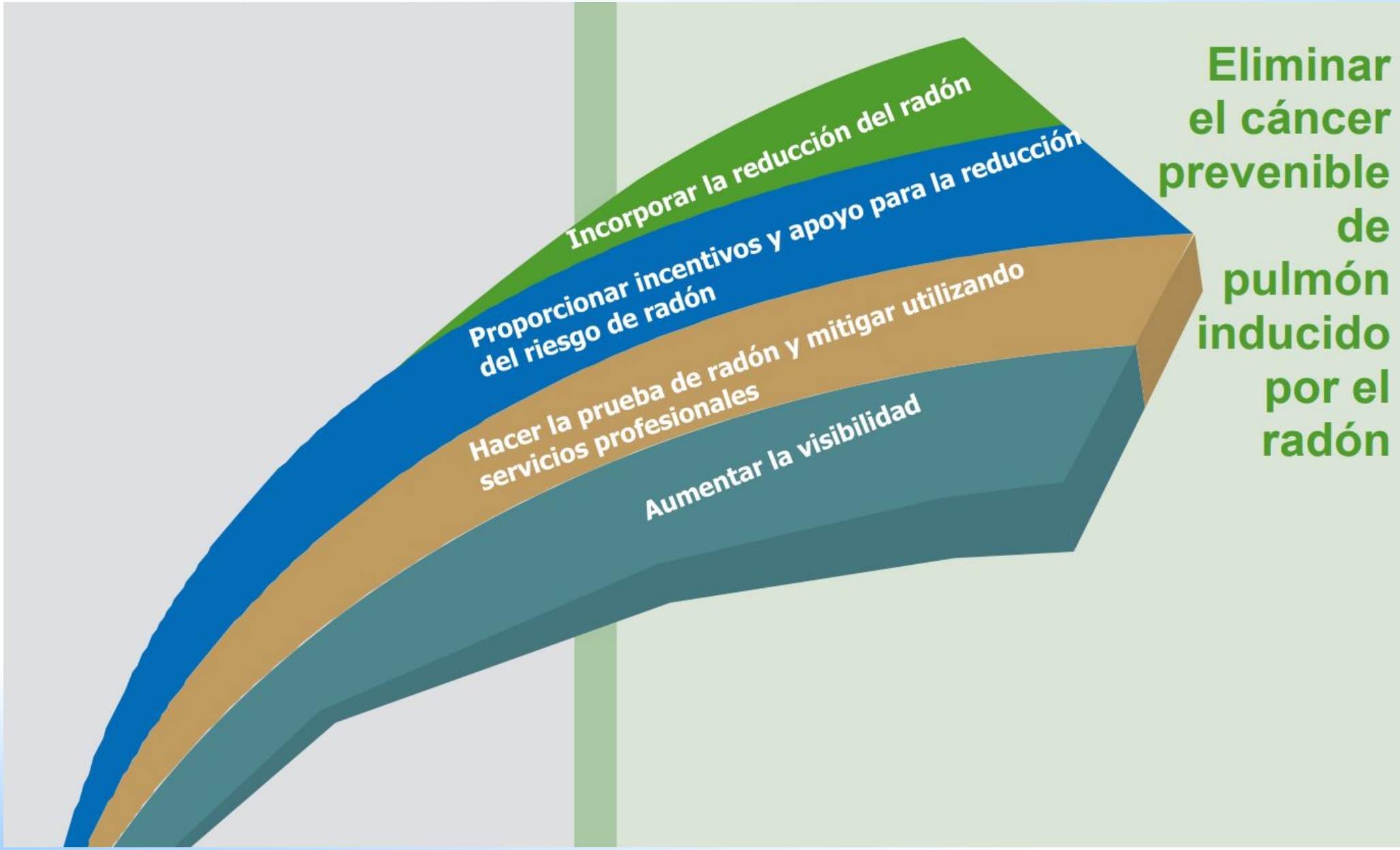
Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano

El plan nacional de acción contra el radón…

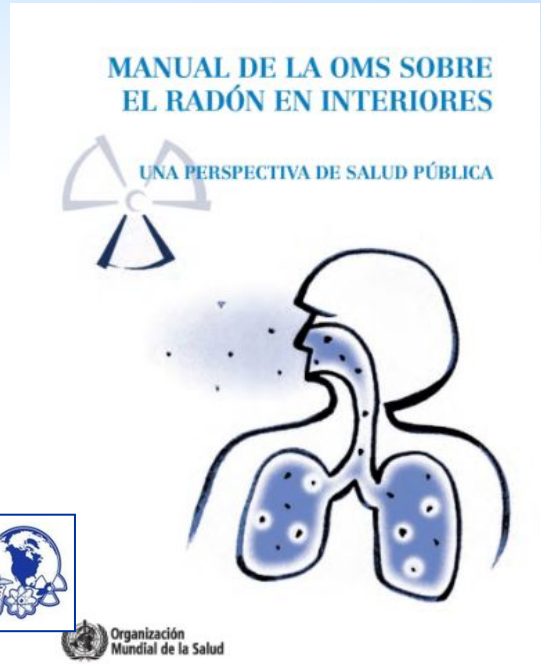
- Visión: eliminar el prevenible cáncer pulmonar inducido por el radón

- Objectivo: incorporación de pruebas y mitigación del radón y la construcción con técnicas resistentes al radón en los sistemas de compra, financiación, construcción y renovación de viviendas y otros edificios

El plan nacional de acción contra el radón…



Un problema de salud pública



HEALTH EFFECTS OF EXPOSURE TO LOW LEVELS OF IONIZING RADIATION BEIR V

Cancer causado por descendientes de radón ha sido bien establecido por la comunidad científica. **Nuestra acción es eminente.**

Contacto

Jorge Laguna, Físico de Salud
Oficina de Control de Radiación de Florida
http://radon.floridahealth.gov
Jorge.Laguna@FlHealth.Gov
850-245-4397

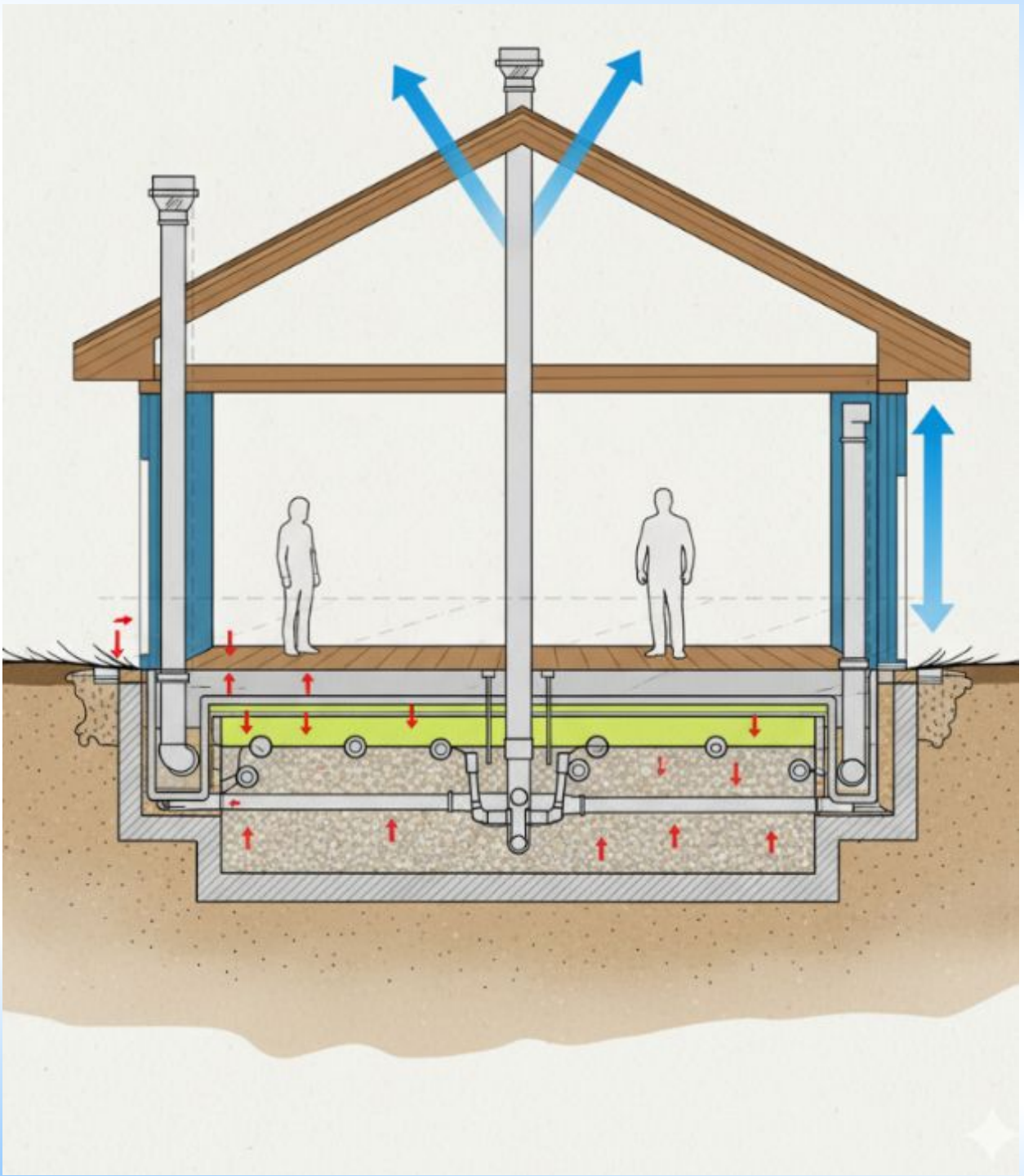
Mecanismos de Prevención de exposición al Radón

Jorge Laguna, Jorge.Laguna@flhealth.gov
Administrador Ambiental
Oficina de Control de Radiación de Florida
Estados Unidos

Objetivos

- Construcciones Nuevas (Prevención)
- Edificios Existentes (Mitigación y Control)
  - Aire
  - Agua

- El objetivo fundamental de ambas estrategias es reducir la exposición de la población a el radón (gas radioactivo) para disminuir la incidencia del cáncer de pulmón. El radón y sus descendientes son la segunda causa principal después de fumar

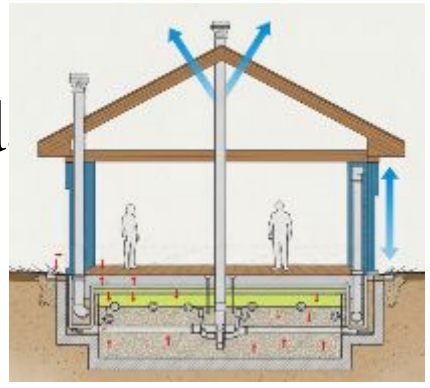


Prevencion: Construcción Resistente al Radón

Objectivos - construcción nueva resistente al radón

Construir de forma ecológica y reducir los altos niveles de radón

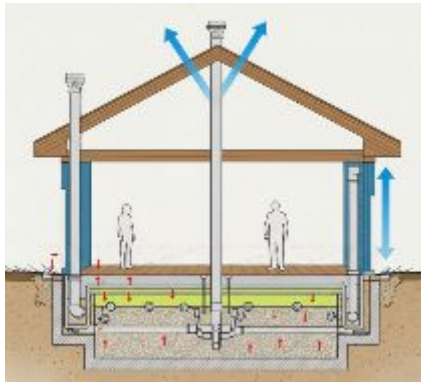
- Implementar técnicas de construcción nueva resistente al radón (RRNC)
- Reducen la entrada de radón en las viviendas
  - Instalando barreras para retardar la entrada de gases
  - Controlando la relación entre la presión interior y exterior
  - Dilución de las concentraciones de radón en interiores salva vid



Objectivos - construcción resistente al radón

- Materiales de construcción comunes
- Técnicas sencillas
- RRNC es económica - reduce niveles de radón, minimiza riesgos a la salud
- Salva vidas 21,000 muertes año
- Mortalidad por cáncer de pulmón inducida por radón cuesta 1.8 billones de dólares al año (2016 dollars)

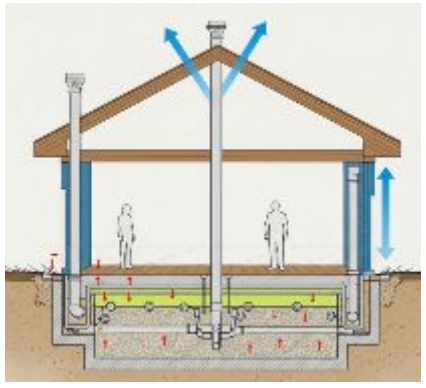
SURGEON GENERAL's WARNING:
Radon causes lung cancer.



Objectivos - construcción resistente al radón

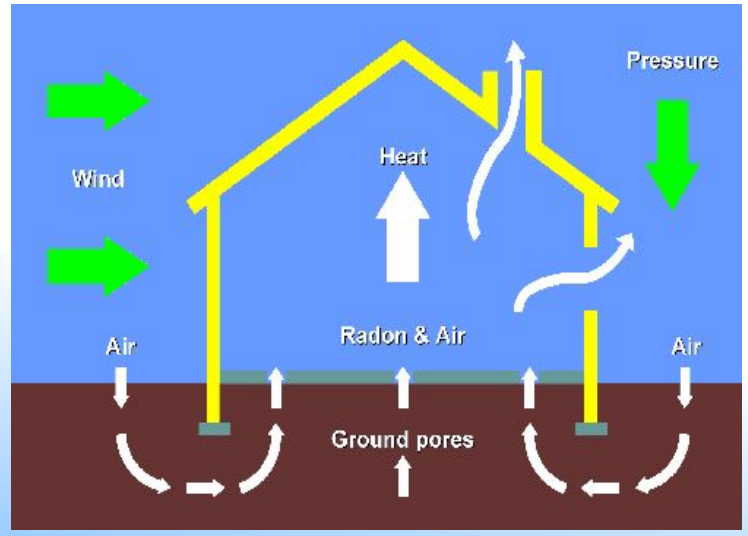
- Una construcción resistente al radón suele costar de $500 a $1000 adicionales, dependiendo del tamaño y la ubicación de la casa.
- Este tipo de construcción puede agregar valor al proteger la salud y reducir los costos para el propietario
- Costo promedio de instalar sistema de mitigación en casas existente varia de $2.500 a $10.000

SURGEON GENERAL's WARNING:
Radon causes lung cancer.

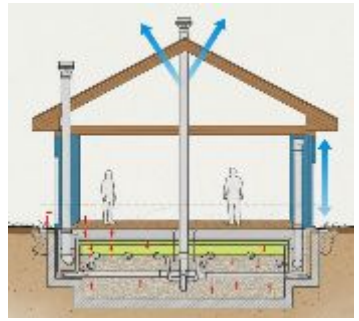


Evaluación del Sitio

- ¿Son necesarias las mediciones del suelo antes de construir una casa para determinar si necesitamos técnicas resistentes al radón?

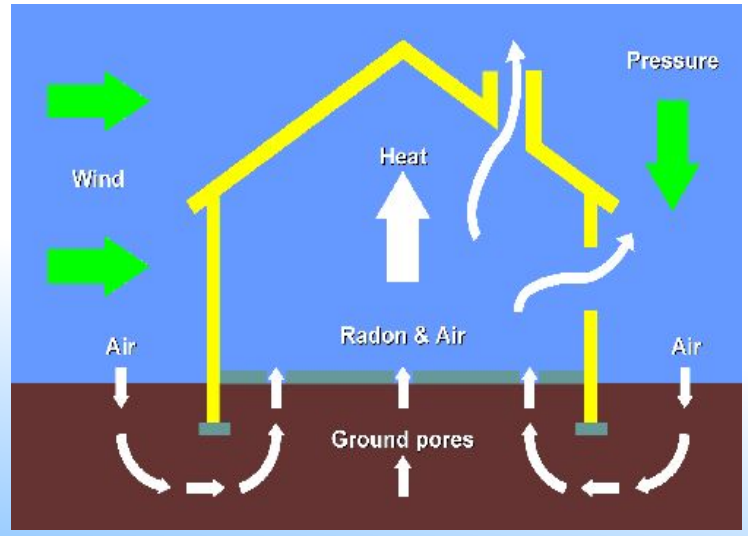


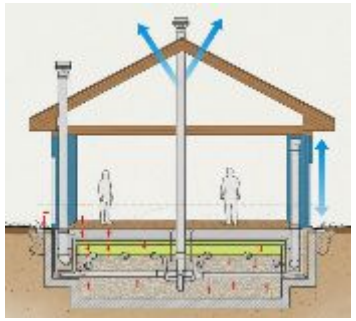
- **Resultados de radio, radón y permeabilidad del suelo pueden ser engañosos**
- Casas varían considerablemente en su capacidad para resistir la entrada al radón
  - El lecho rocoso y el sub-suelo interactúan con las condiciones dinámicas de la casa
  - Los factores ambientales (viento, presión, lluvia) hacen imposibles las predicciones



Evaluación del Sitio

- Concentraciones de radón fluctúan con el tiempo y de un area a otra
- Medidas son en ese momento no representan el futuro
  - Una vez excavados los cimientos, la permeabilidad cambia
  - Relleno traído de otras zonas
  - Casas idénticas, una al lado de la otra, tienen diferentes niveles de Rn
  - No existe una correlación simple entre los niveles de radio en el suelo y las concentraciones de radón en el interior

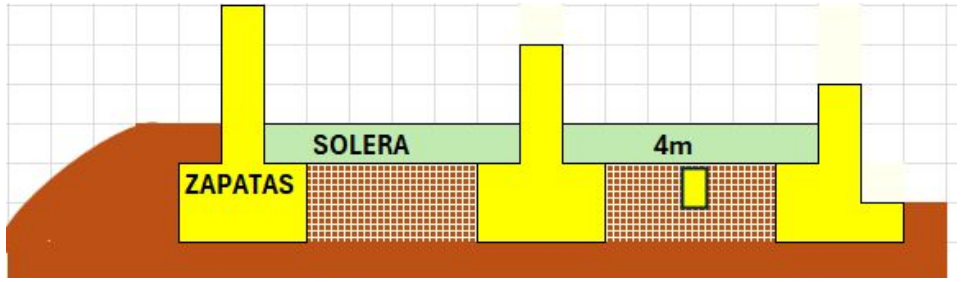




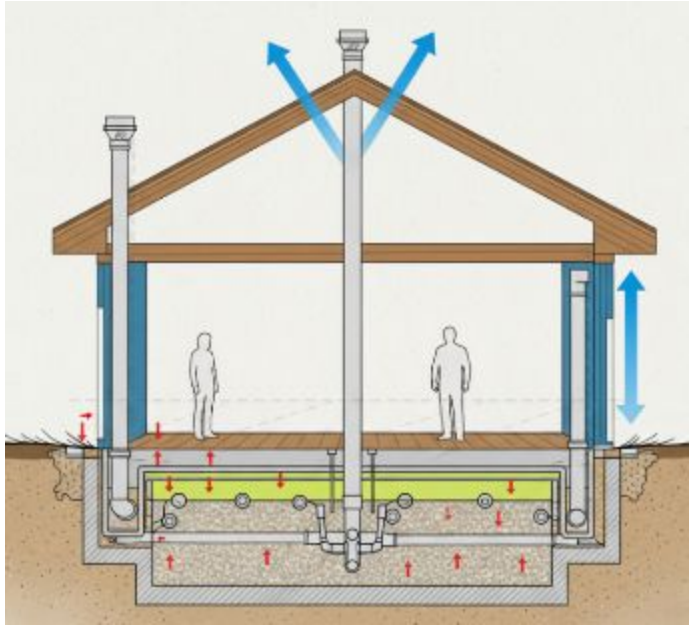
Evaluación del Sitio

- Se requieren muchas mediciones para evaluar adecuadamente un sitio en particular
- Cada edificio construido tendrá valores diferentes
- Lo más rentable es construir edificios resistentes al radón



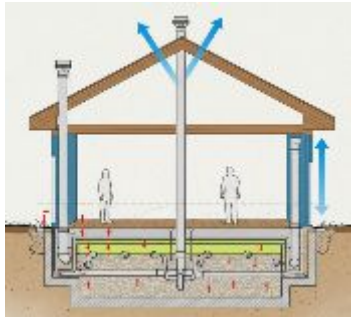






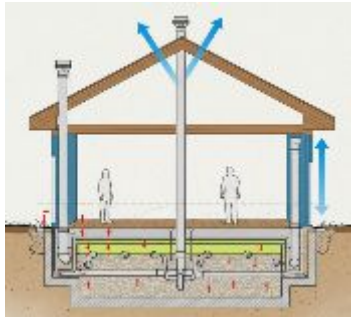
Construcción resistente al radón

- No existe una correlación entre las mediciones del suelo y los niveles de radón en interiores
- El **desafío** que enfrenta el constructor es cómo reducir el radón sin comprometer la **estética**, la integridad del edificio y la salud y seguridad de los ocupantes y trabajadores, a costos razonables
- Ahorramos dinero
- Es fácil

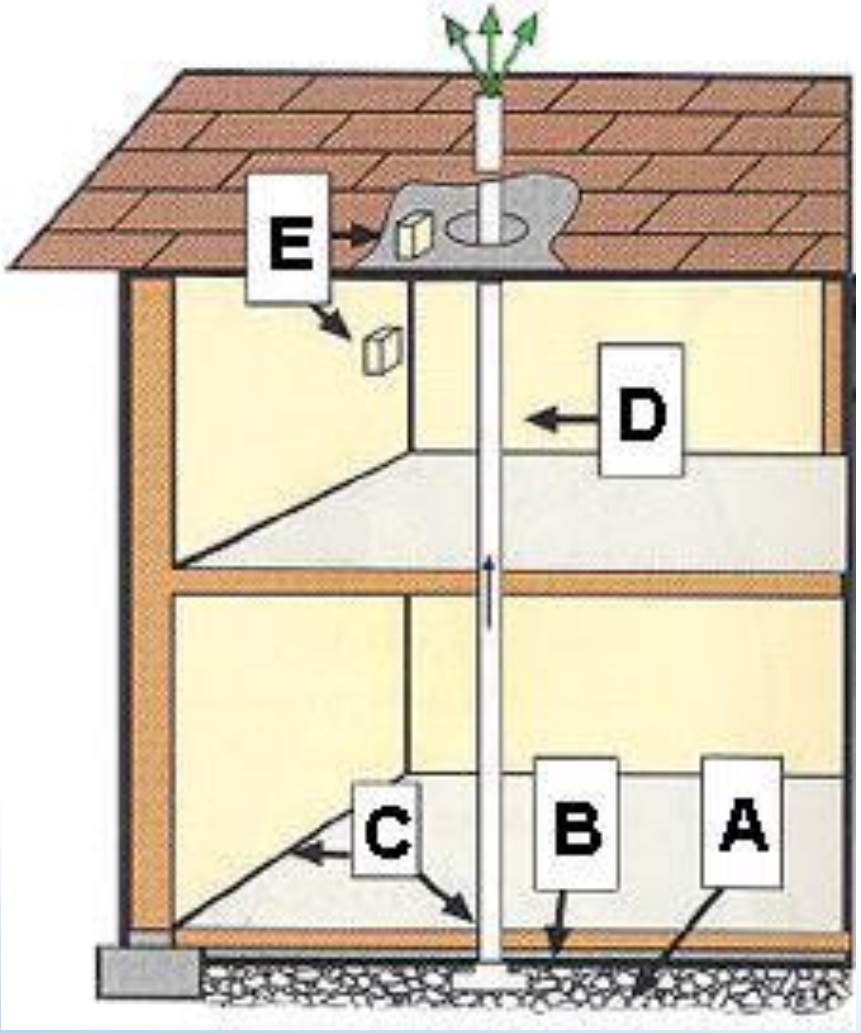


Construcción resistente al radón

- Construir y promover viviendas resistentes al radón
- ¿Pagar o no pagar los costos adicionales asociados a los sistemas de radón (entre el 0,002 y el 0,004 % del costo del edificio)?
- Construir viviendas resistentes, reducen la principal causa de mortalidad prevenible



Características básicas de la construcción resistente al radón



US Environmental Protection Agency

A. Capa/grava permeable al gas

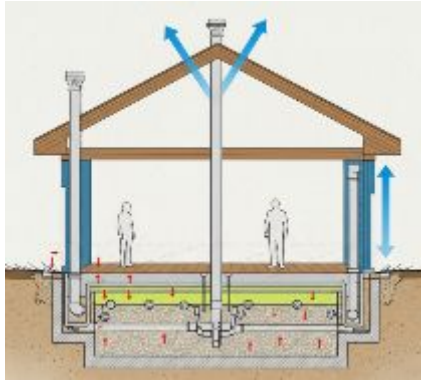
B. Láminas de plástico

C. Sellado y calafateo

D. Tubo de ventilación

E. Caja de conexiones

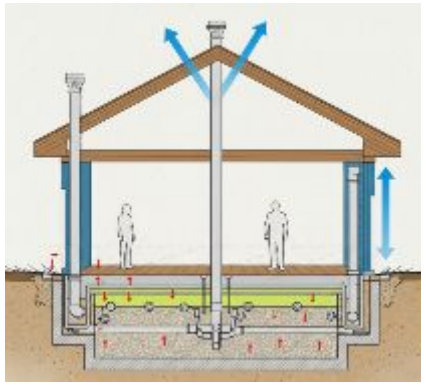
Etiqueta el sistema



Modelos de construcción resistente al radón

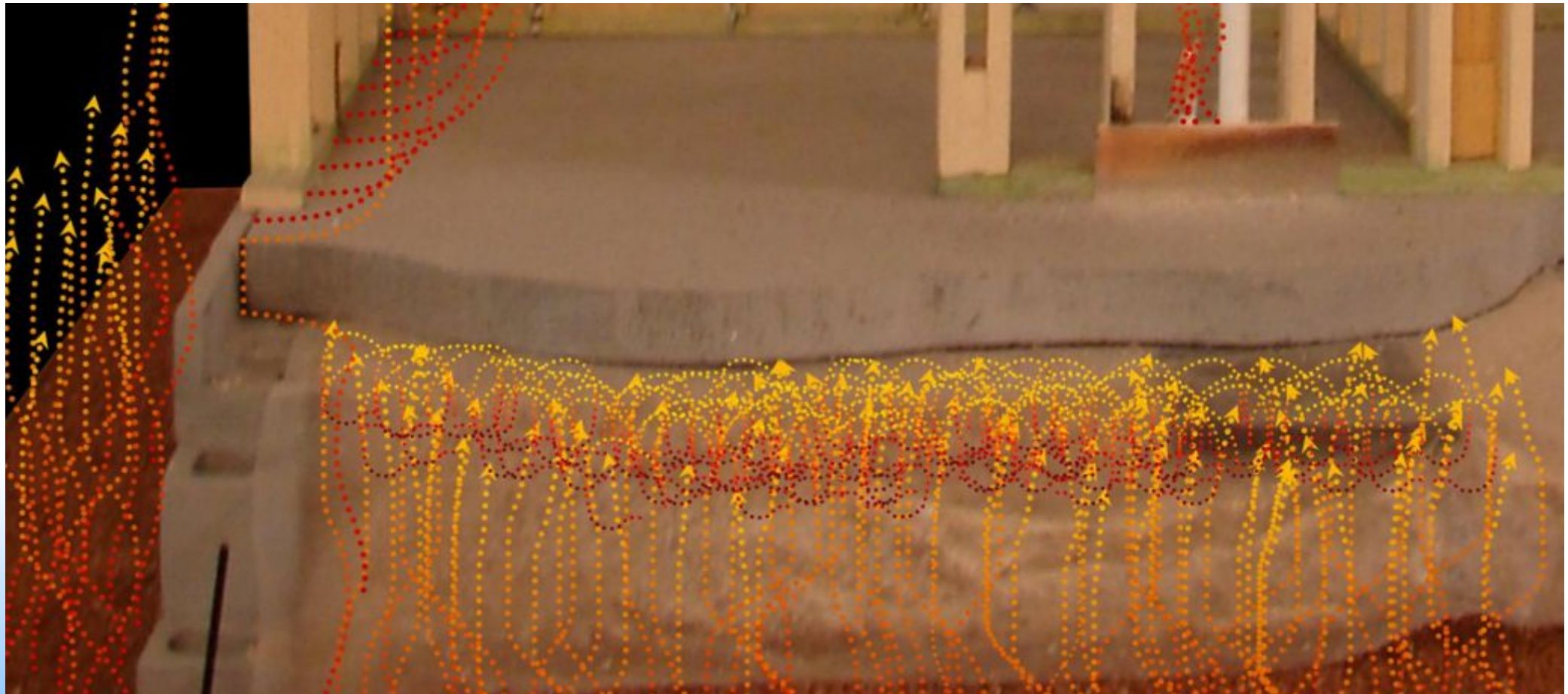


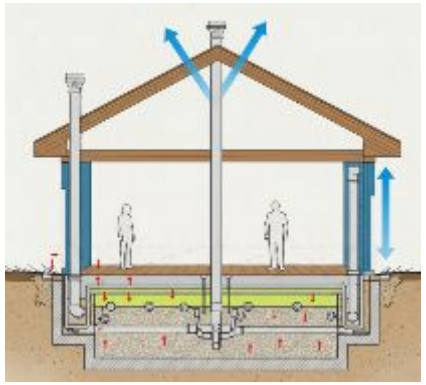
Modelos ilustran diferentes formas de evitar que el radón entre en sus hogares



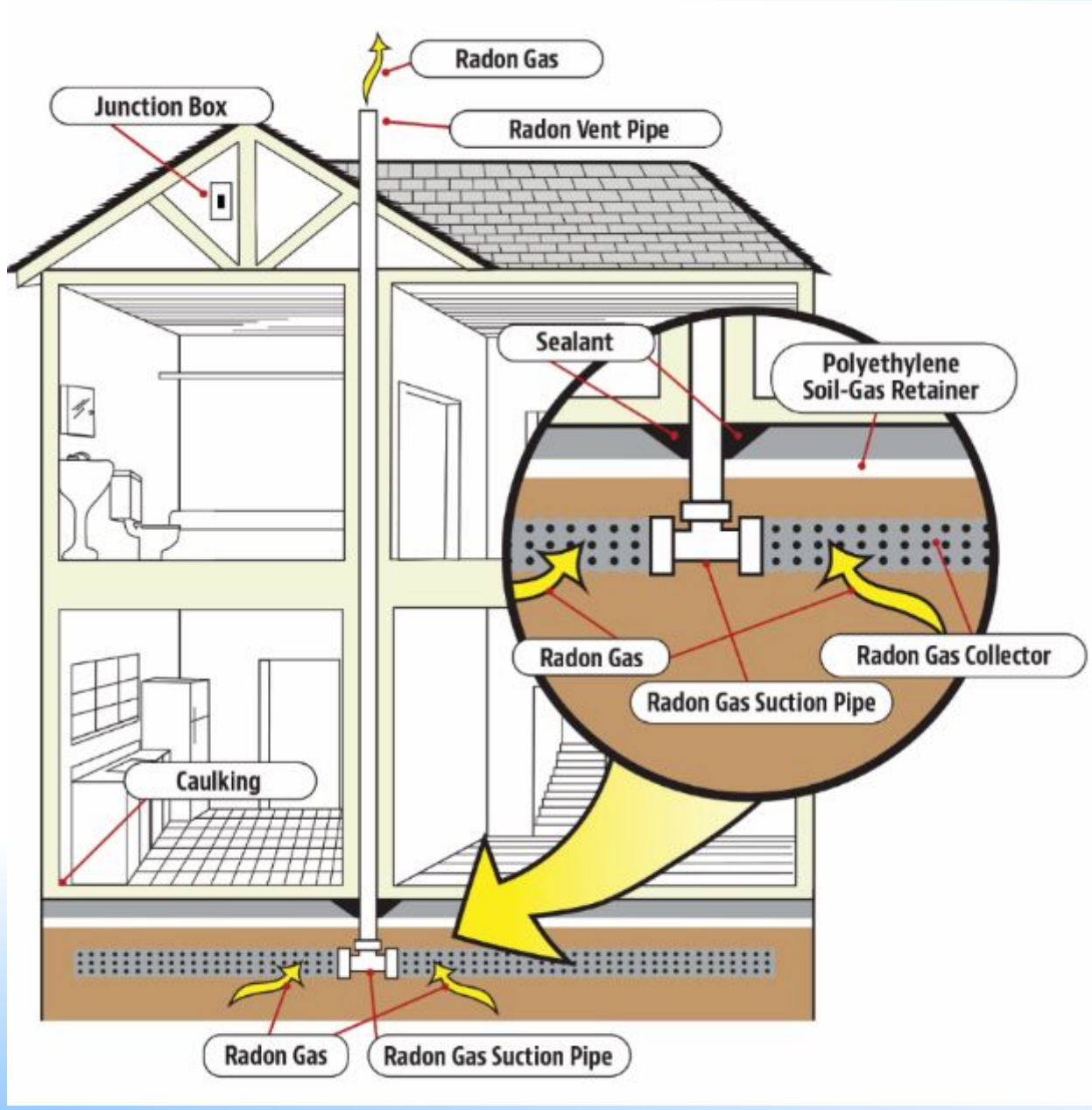
Radón asciendo por el suelo

- Cubrimos el suelo con un edificio, el radón entra por los bordes y las juntas de soleras y por cualquier abertura: plomería y electricidad

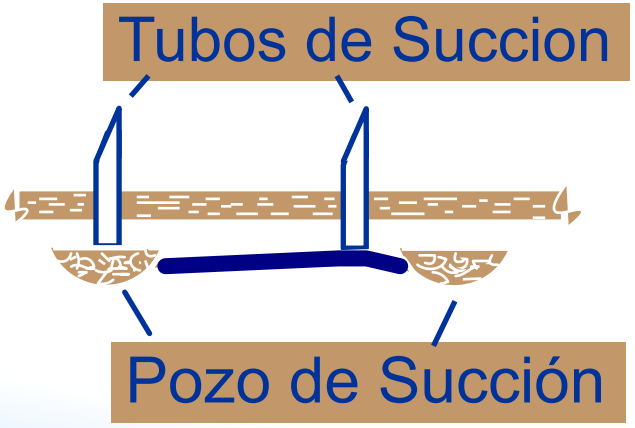


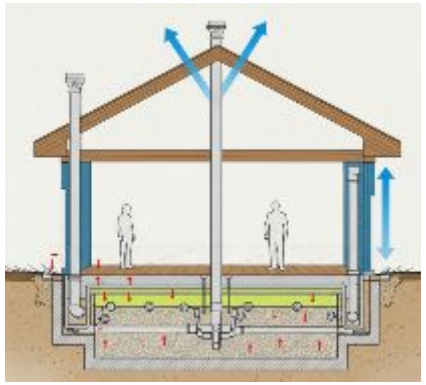


Construcción resistente al radón



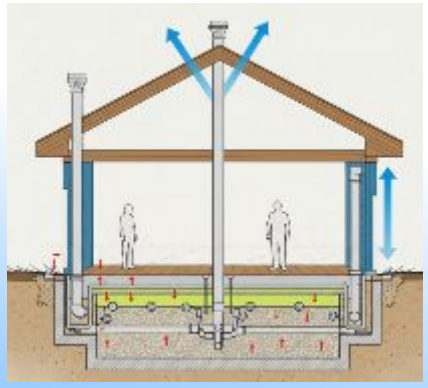
- Apéndice F - Código de construcción de Florida
- Reduce entrada de radón facilitando vía de escape para los gases
- Capa de recolección de gas radón
- Flujo de aire convectivo a través del tubo ascendente

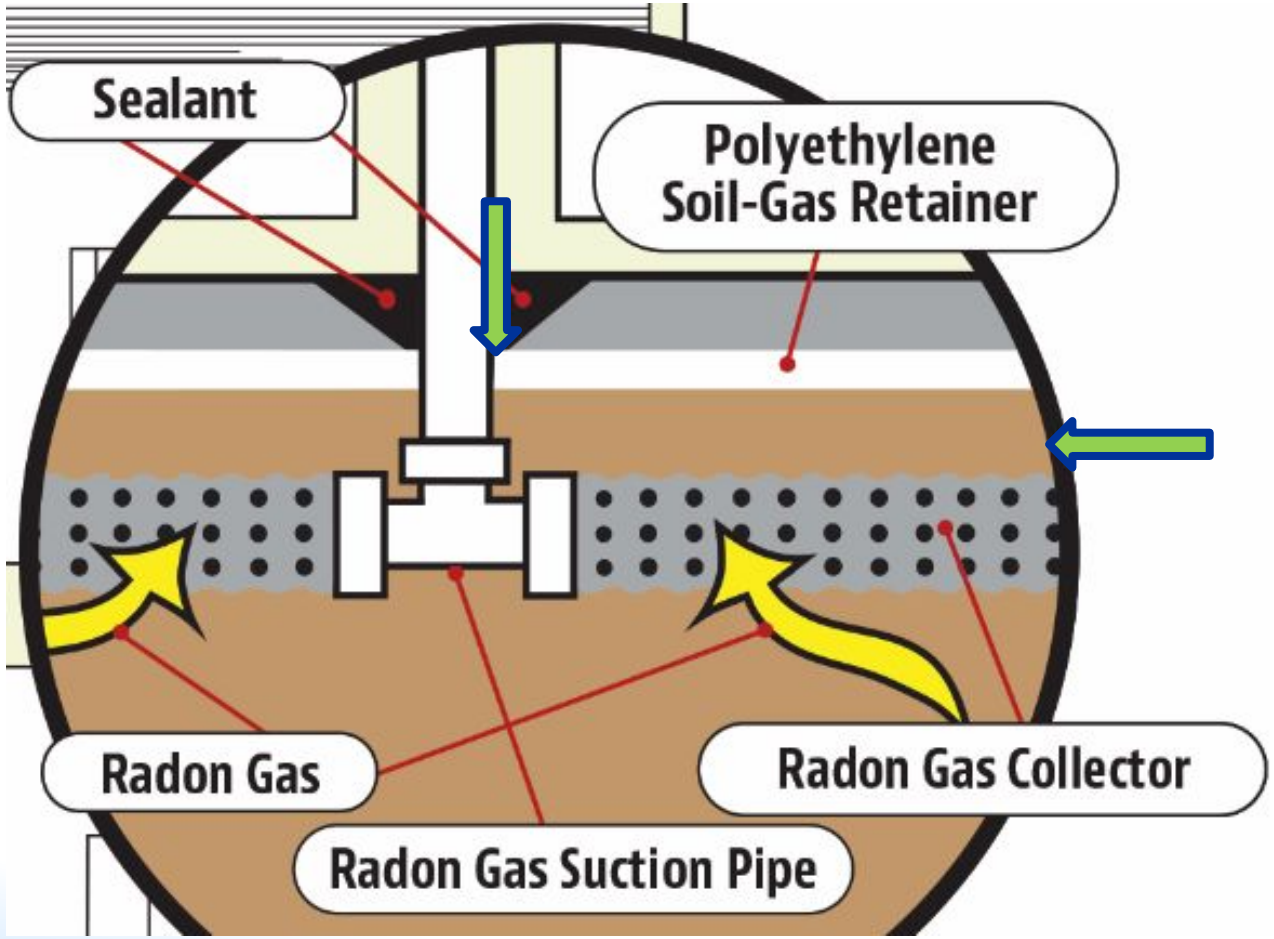




Sistema de recolección de radón

- Grava
- Membrana de polietileno con un espesor mínimo de 1 milimetro
  - **>10 milésimas de pulgada recommendado**
  - Superposición de 30 cm
  - Cinta de 5 cm y sellador semifluido





Sistema de recolección de radón…

Apéndice C Capítulo C603 Código de construcción de Florida

- Se necesita una tubería de succión adecuada para el flujo de aire: diámetro mínimo de 3,8 cm
- Los pozos de los puntos de succión de la losa proporcionan distribución adecuada de la presión debajo de ella

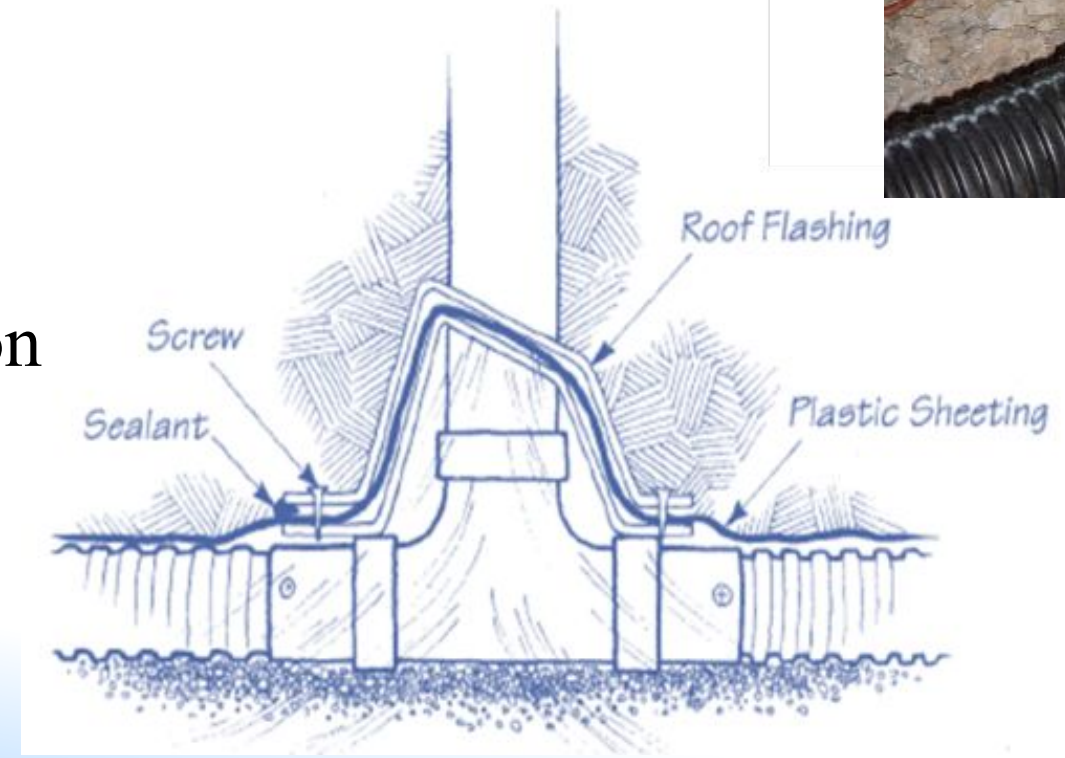


- Dimensiones de 55-60 cm de diámetro y 28 cm de profundidad, o excavación de 0,03 metro cúbico de tierra
- El pozo se rellena con grava de 2,5 cm

Sistema de recolección de radón…

- Conecte tubos de ventilación a tuberías corrugadas para recolección de gases; fíjelos con tapajuntas de techo y ventile hacia el exterior de la casa
  - Coloque barrera de vapor
  - Selle y pegue la membrana alrededor del tubo de succión





Reducción de entrada de radón a través de la solera



- Cubra el tubo ascendente
- Etiquete la tubería para evitar errores
- Calafatee las varillas de soporte, las juntas y cualquier grieta



¿Qué puedes hacer?
Construcción resistente al radón

- Mejor manera de reducir la posibilidad de tener niveles elevados de radón
  - Reducción de la entrada de radón a través de la laminas **baja coeficientes de difusión**
  - Limitación y sellado de penetraciones de plomería y electricidad, juntas – **lugares de entrada**
  - Sellado con laminas de espacios de acceso





¿Qué puedes hacer?
Construcción resistente al radón

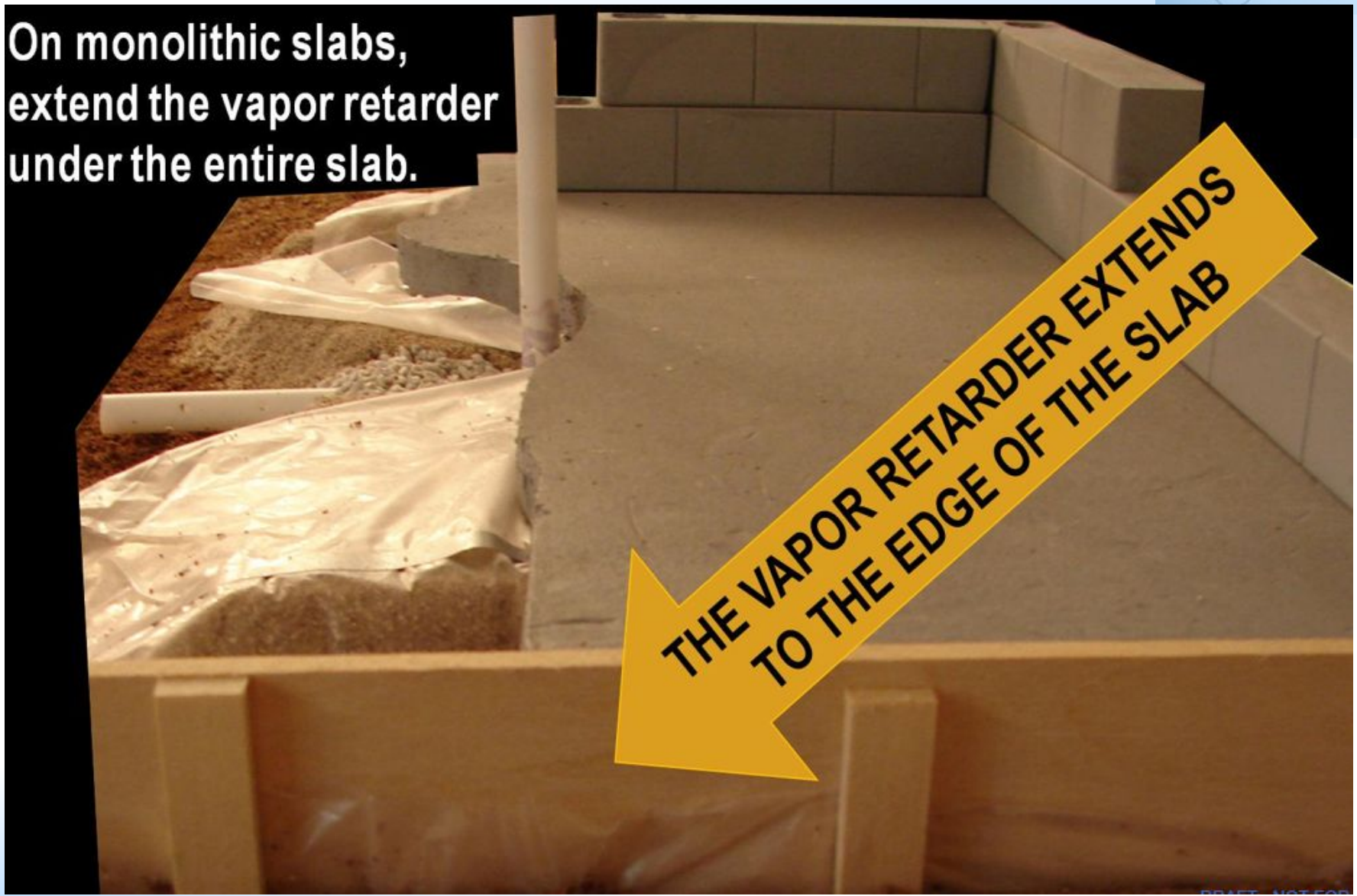
- Económico y sencillo (~$1000)
- 2004 Florida Building Code
  - Apéndice B – Estándar Pasivo Residencial
  - Apéndice E – Estándar Comercial





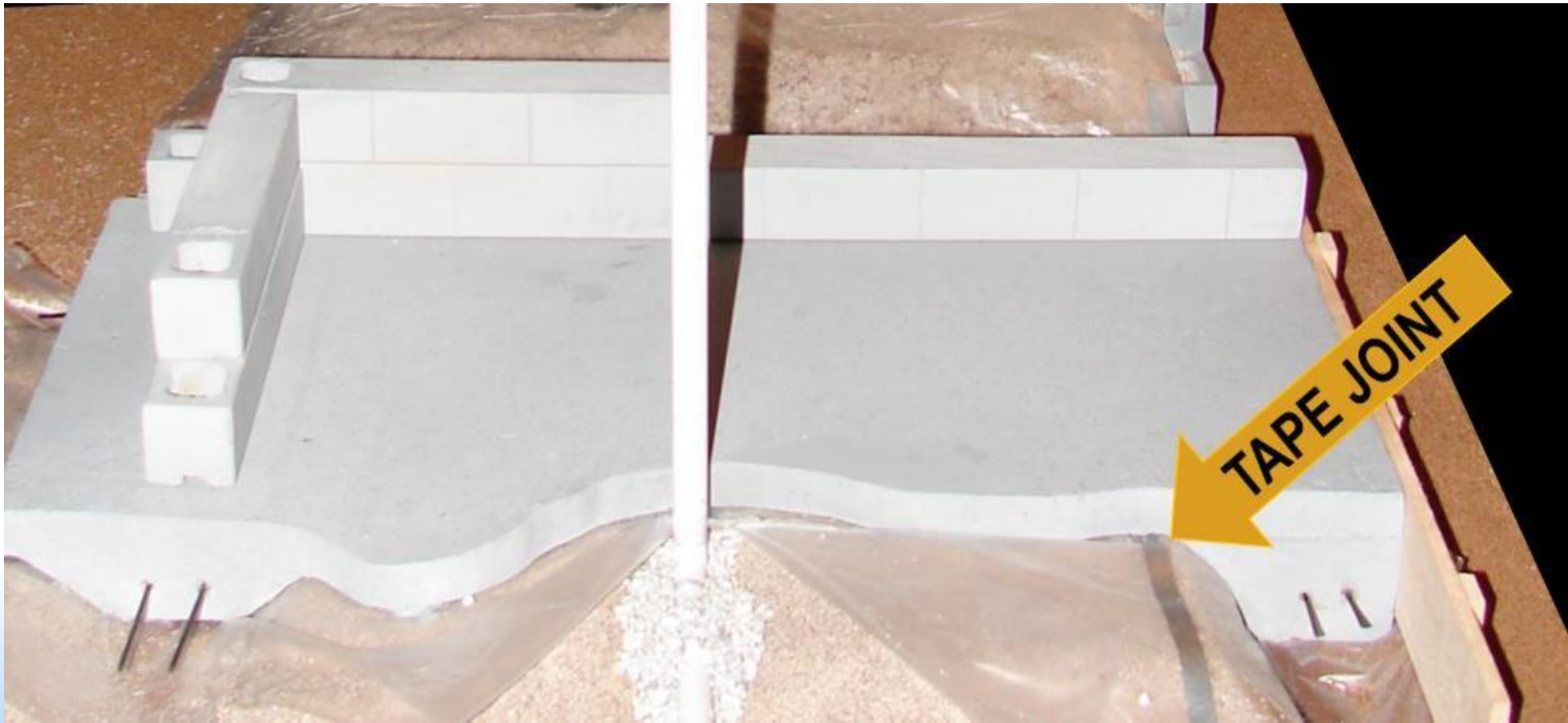
Membrana para reducer el vapor

Losa monolítica extiende retardador de vapor bajo toda la losa



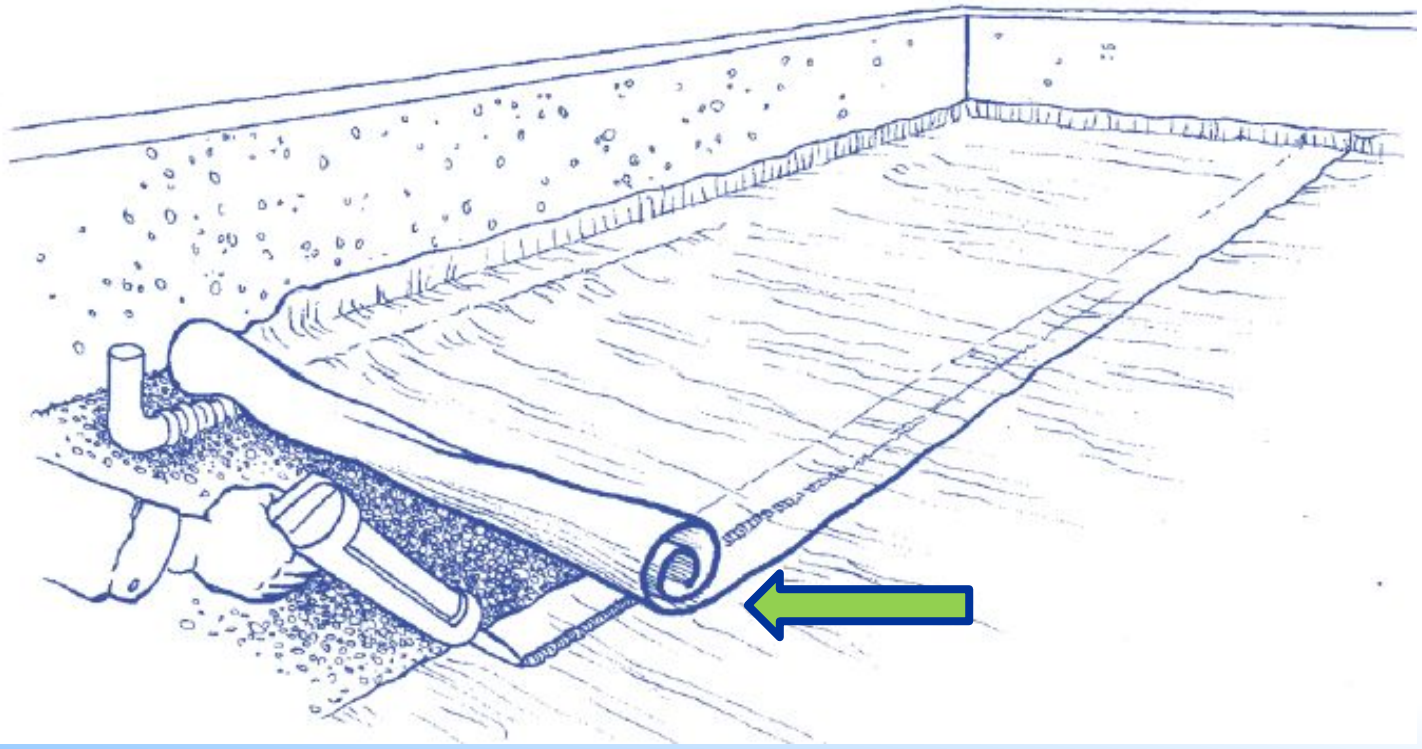
Membrana para reducer el vapor

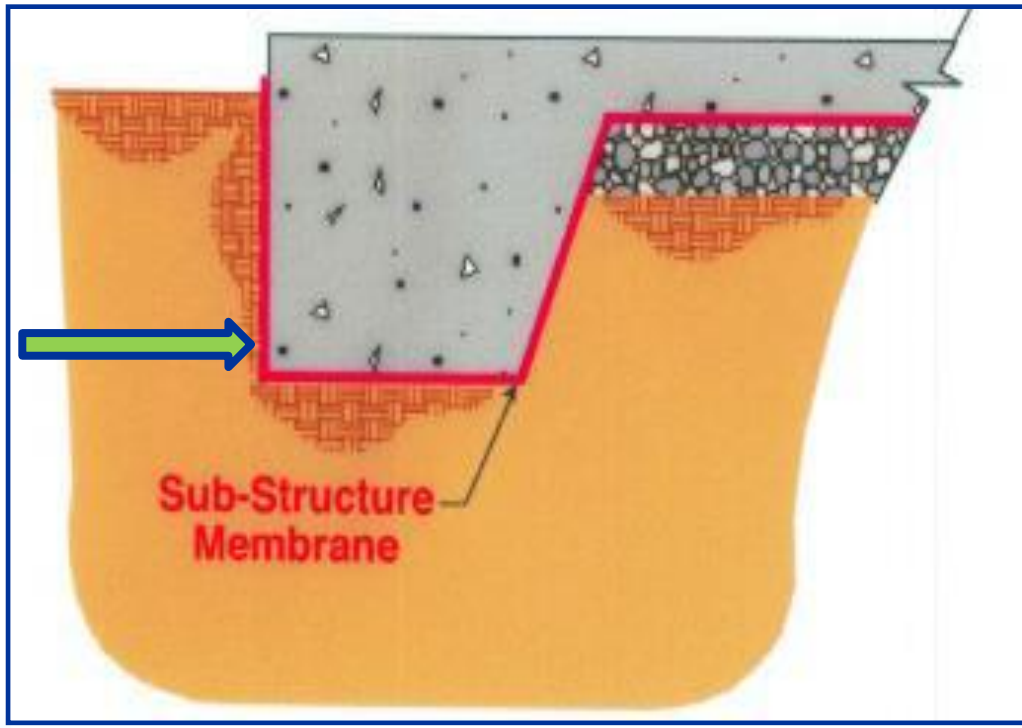
- Evite que el radón se filtre a través del retardador de vapor y que el concreto fluya entre las láminas



Membrana para reducer el vapor

- Superposicion de membranas de 30 cm
- Bajo las Zapatas o vigas de nivelación





Esteras de drenaje o ventilación

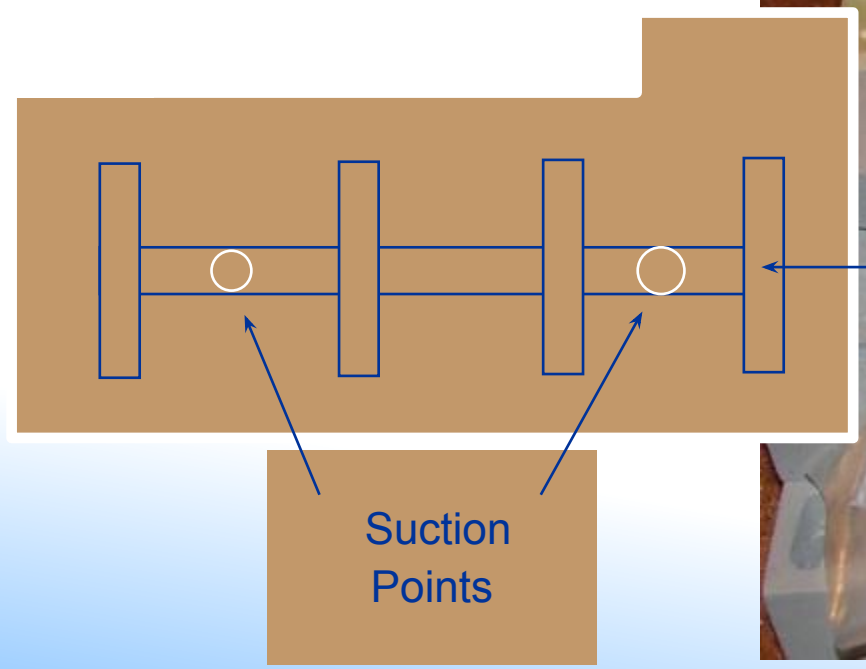


- Se utiliza como parte de un sistema de drenaje, impermeabilización y recolección de gases.
- Proporciona una capa de aire alrededor de la base que pueda ventilarse para facilitar el acceso del aire del suelo a la superficie - muro de cimentación, muro de contención, sótano



Esteras de drenaje o ventilación

Estas deben ubicarse entre 2 a 4 metros del borde de la losa



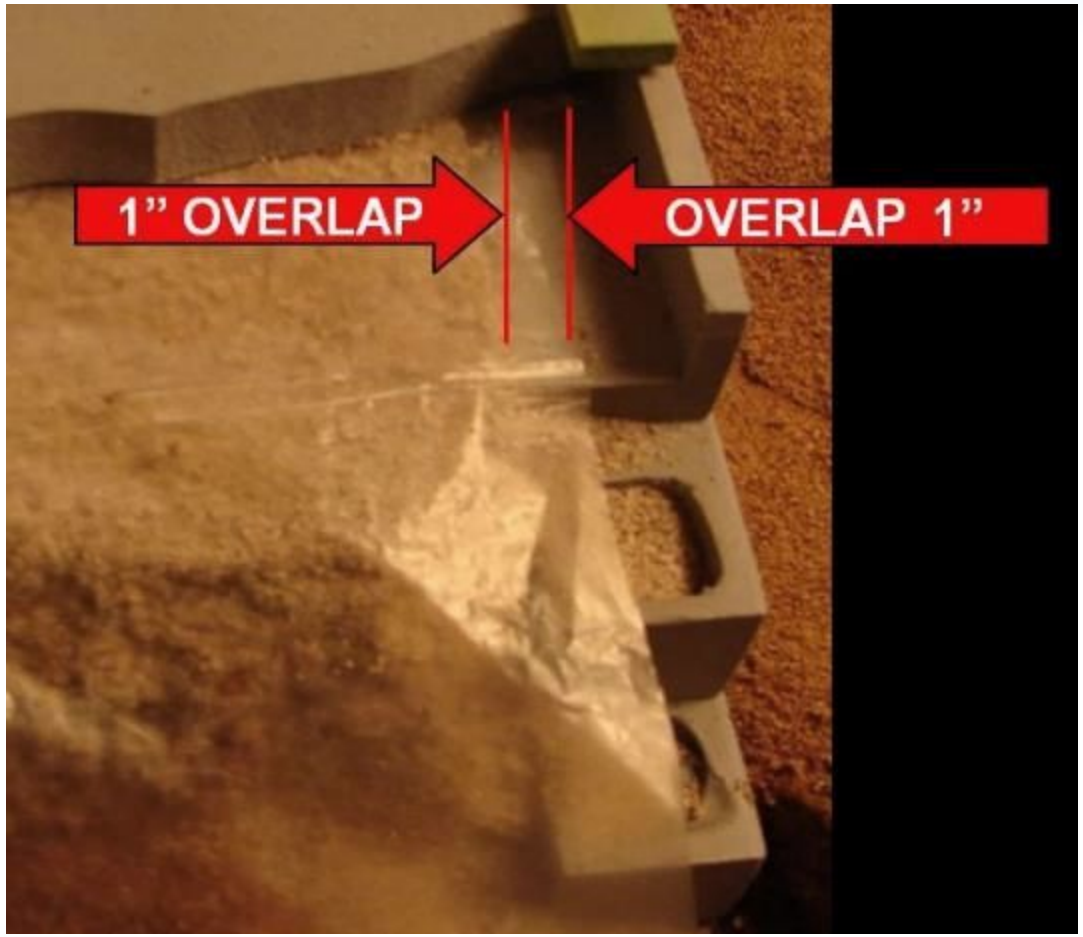


Alternativa a Esteras de Ventilación

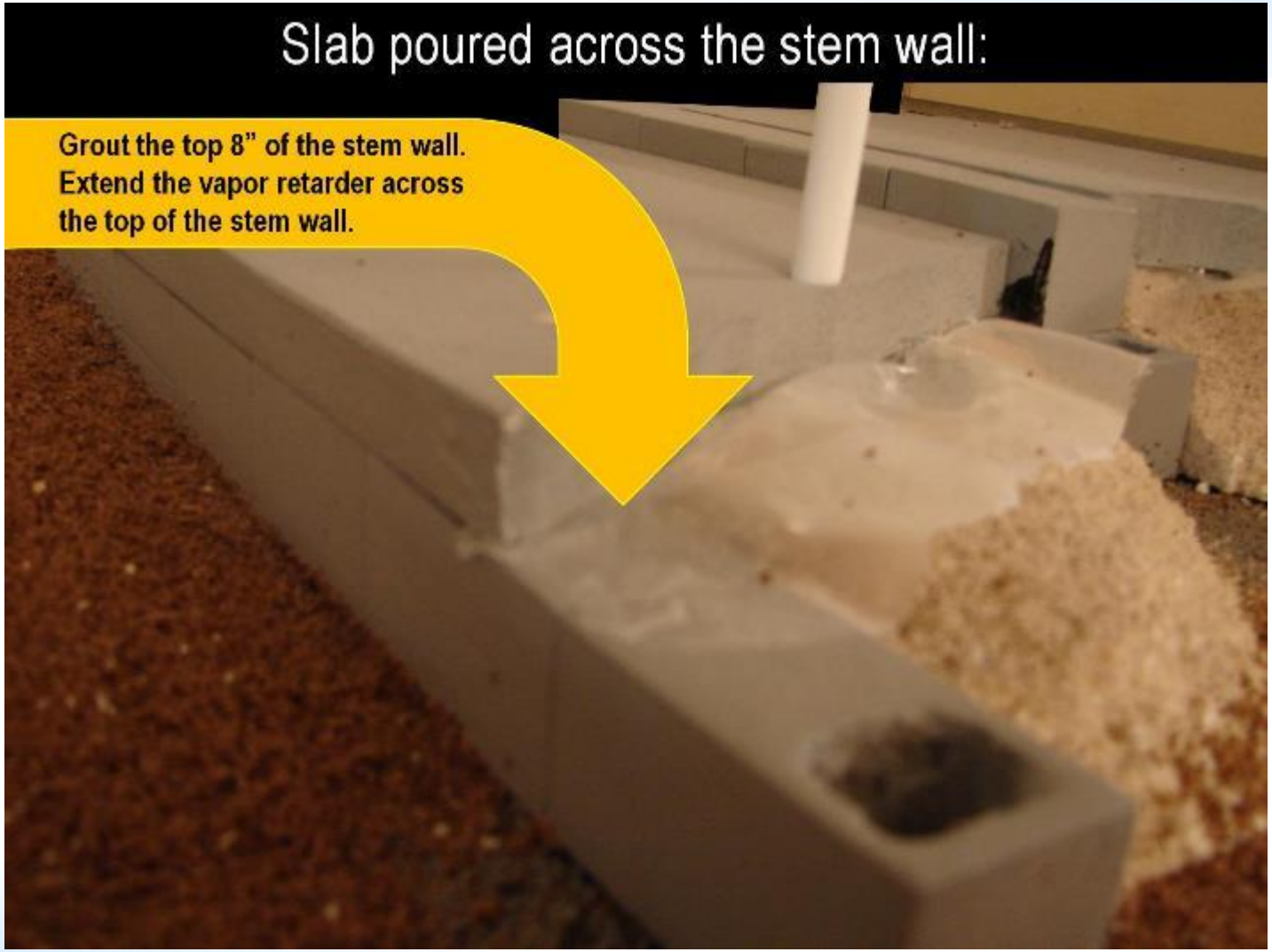


Utilize tubos perforados en una zanja rellena de grava en lugar de una estera de ventilación

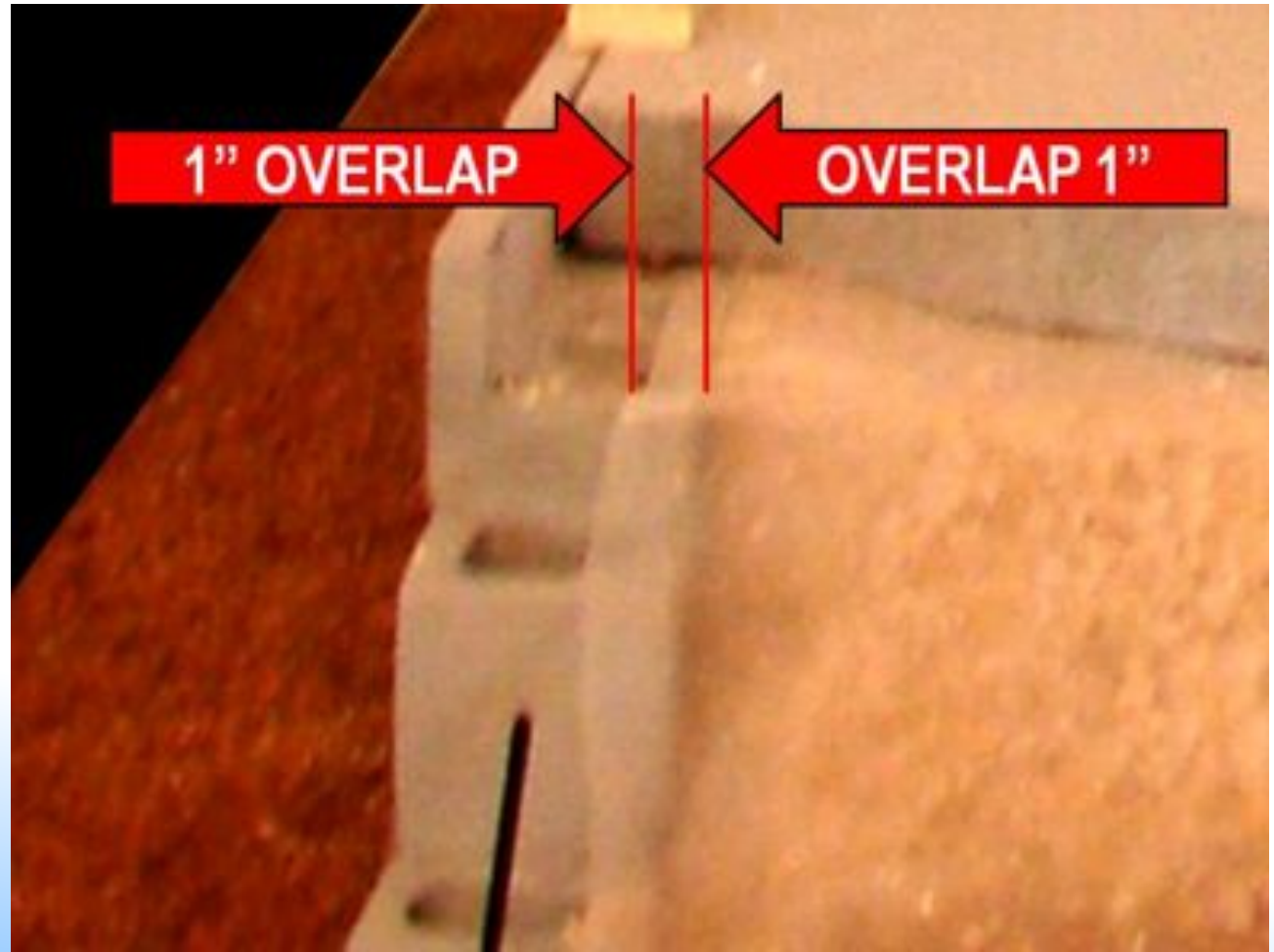
Retardador de vapor y bloques de hormigón



Superposición de la membranas > 2.5 Cm

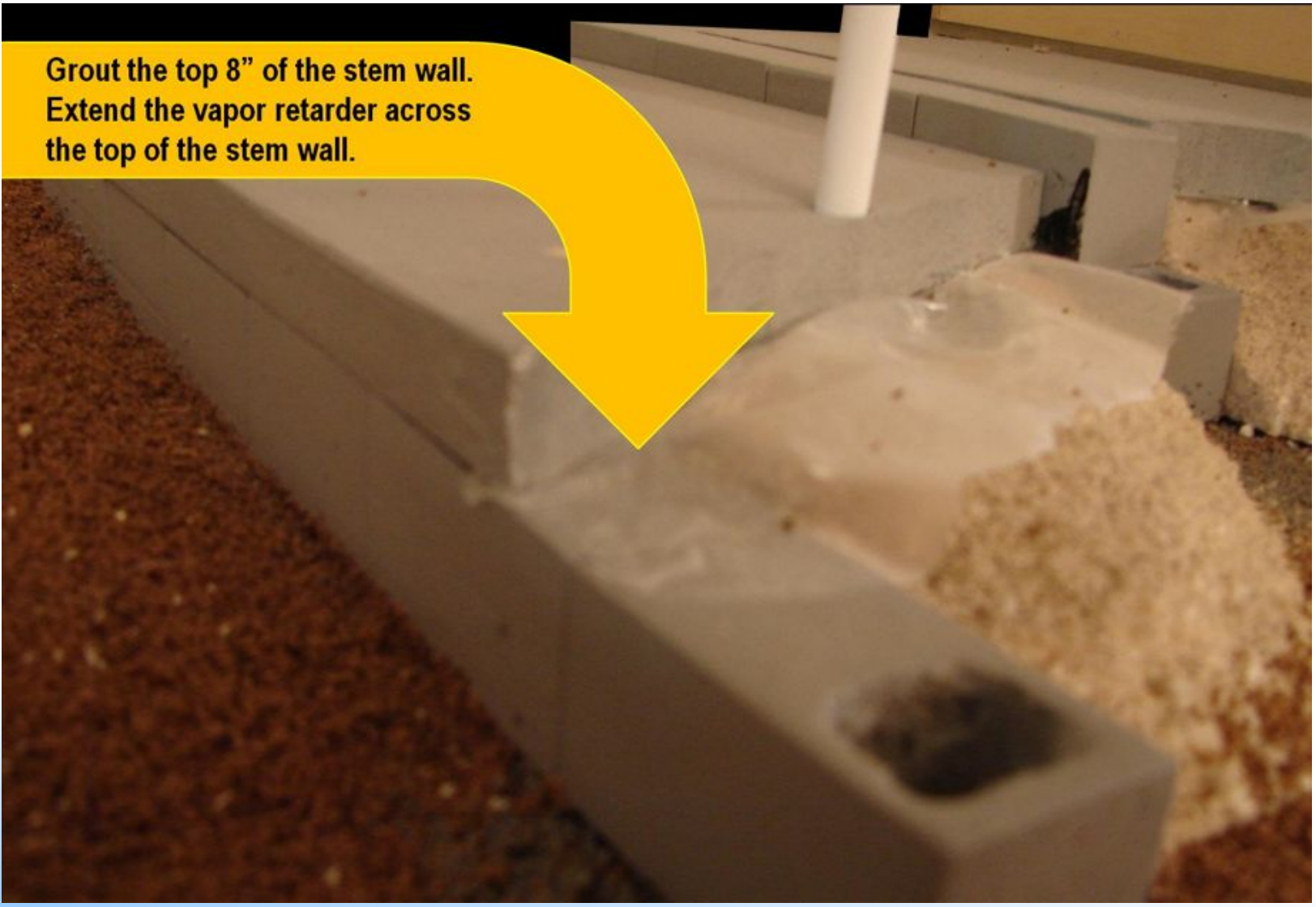


Si utiliza bloques de borde de losa y esta vierte sobre la pared, asegúrese de que el retardador de vapor se extienda al menos 2.5 cm sobre el borde de la pared.





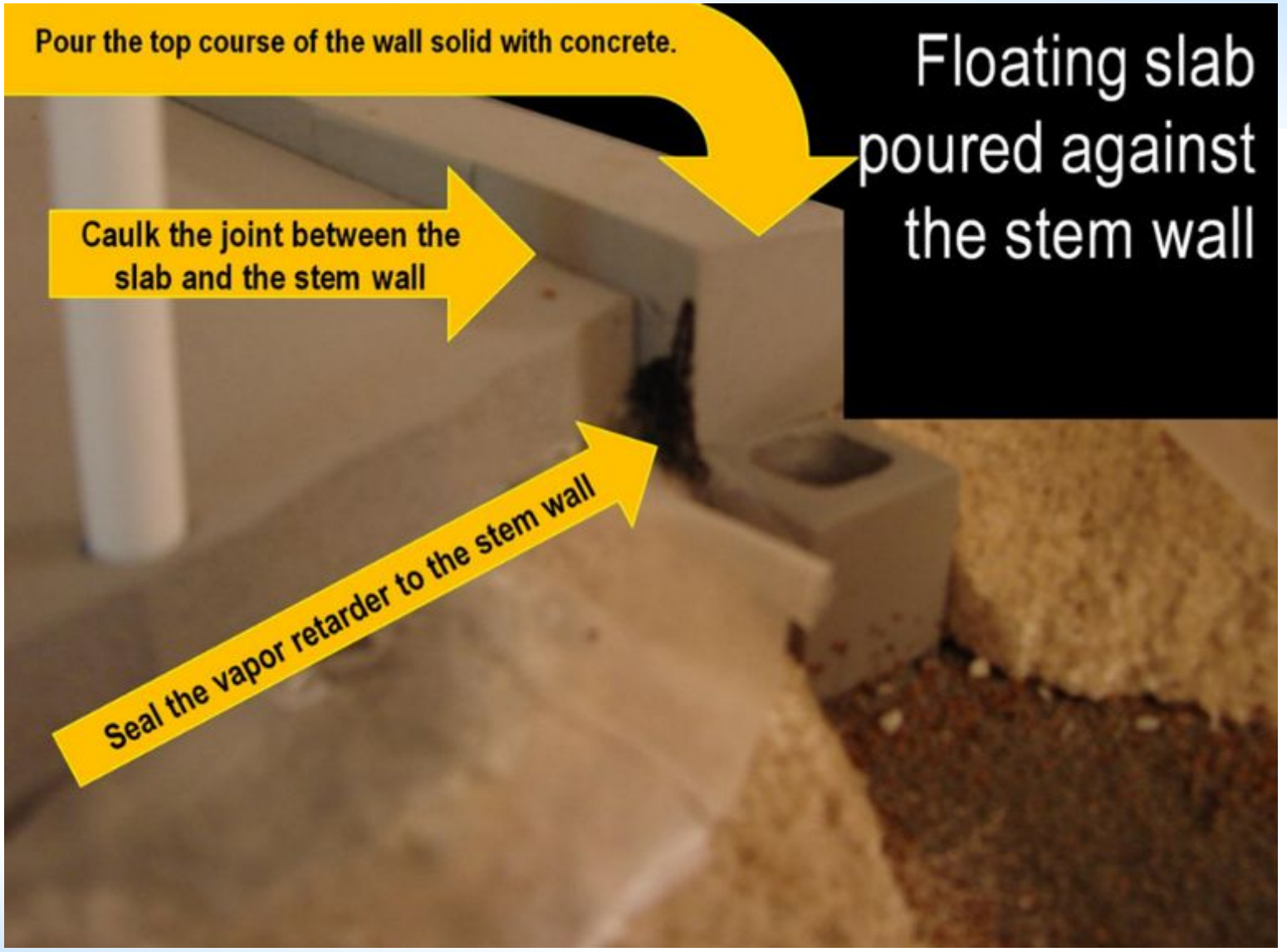
Losa vertida sobre muro de tallo



- Aplique 20 cm de cemento o sello de espuma no poroso sobre los muros del hormigón
- Extienda el retardador de vapor por toda la parte superior del muro del vástago

Losa flotante vertida sobre muro de tallo

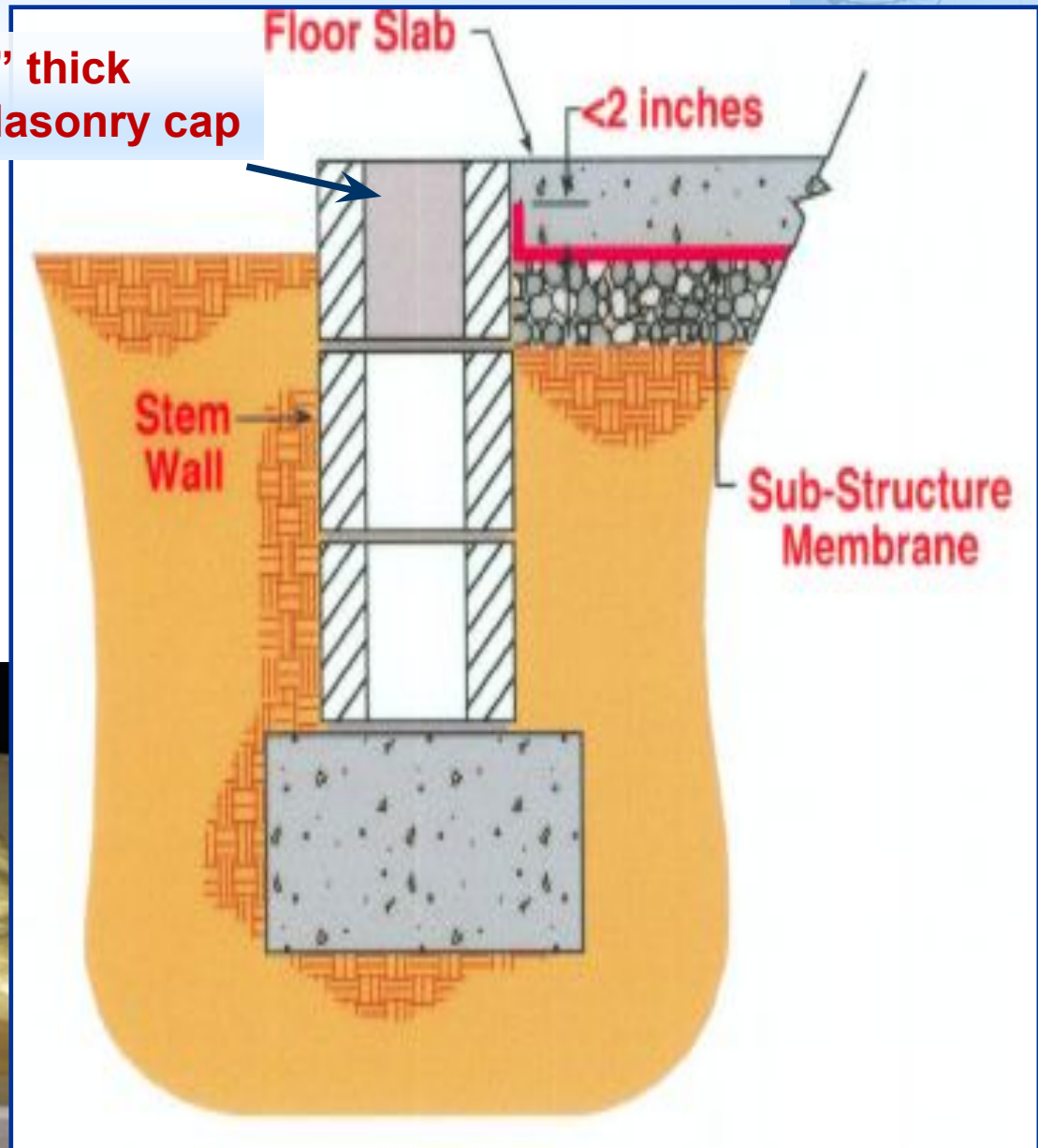
- Vierta la capa superior del muro sólidamente con hormigón o sello de espuma no poroso
- Deje un espacio para instalar una varilla de respaldo y un sellador



Retardador de vapor y bloques de hormigón

- Losa vertida hasta pared de tallo - bloques de hormigón utilizados como bordes de la losa
- La sub-membrana se extiende verticalmente > 5 cm dentro de la pared del tallo

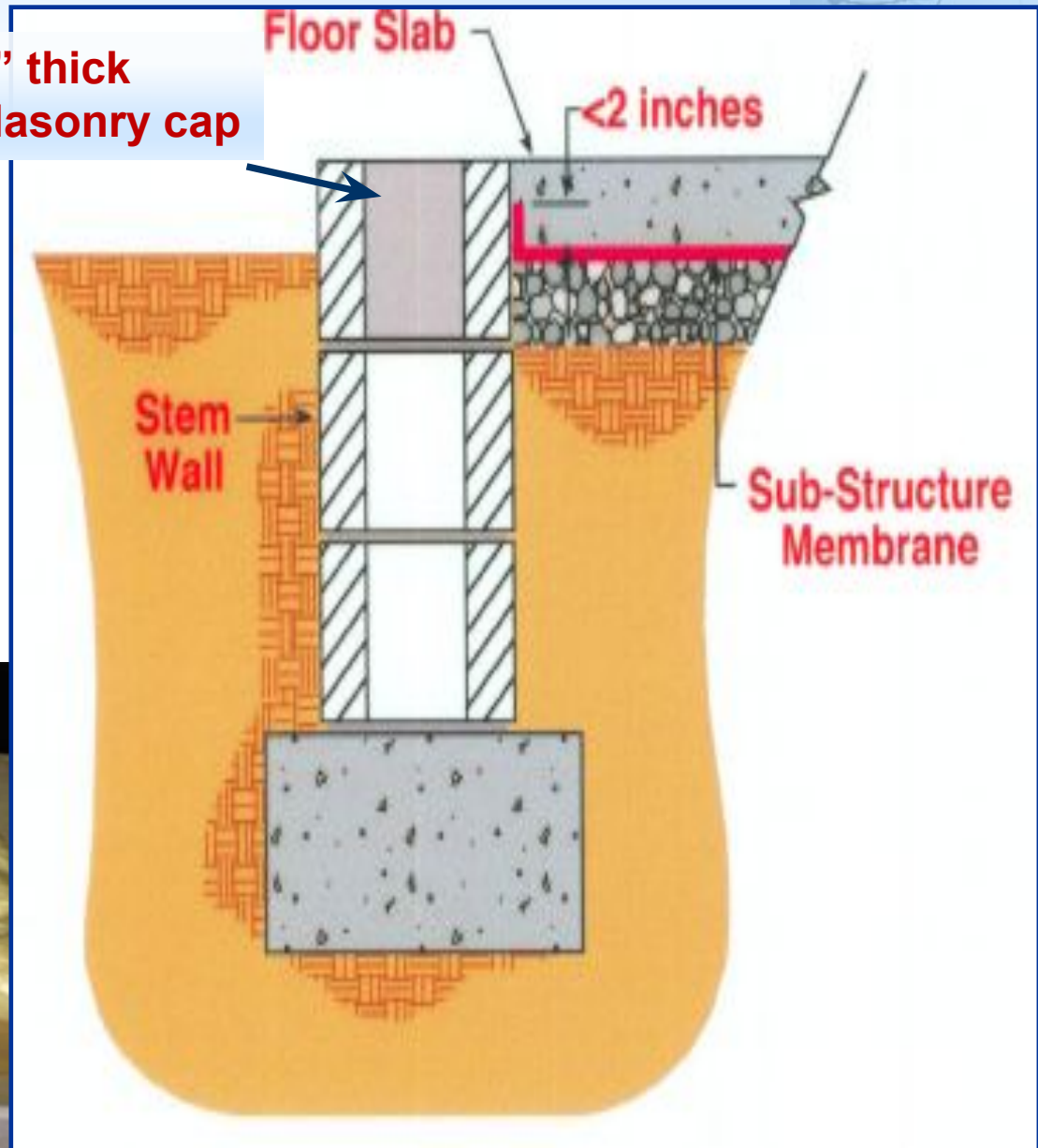




Retardador de vapor y bloques de hormigón

- Vierta la losa de hormigón en el muro de contención para formar una **tapa** continua y **sólida** de más de 20 cm de espesor
- Remate la losa del muro de contención para cubrirlo completamente






One way to do this is to lay down a strip around the perimeter right before you place the rebar.
When you are ready to cover the rest of the slab, just lap the sheets 12”
And tape the joint.
CAREFULLY TAPE THE ENTIRE SEAM
OVERLAP NEXT SHEET 12”
4’ STRIP OF VAPOR RETARDER

Espacio de Acceso Elevado

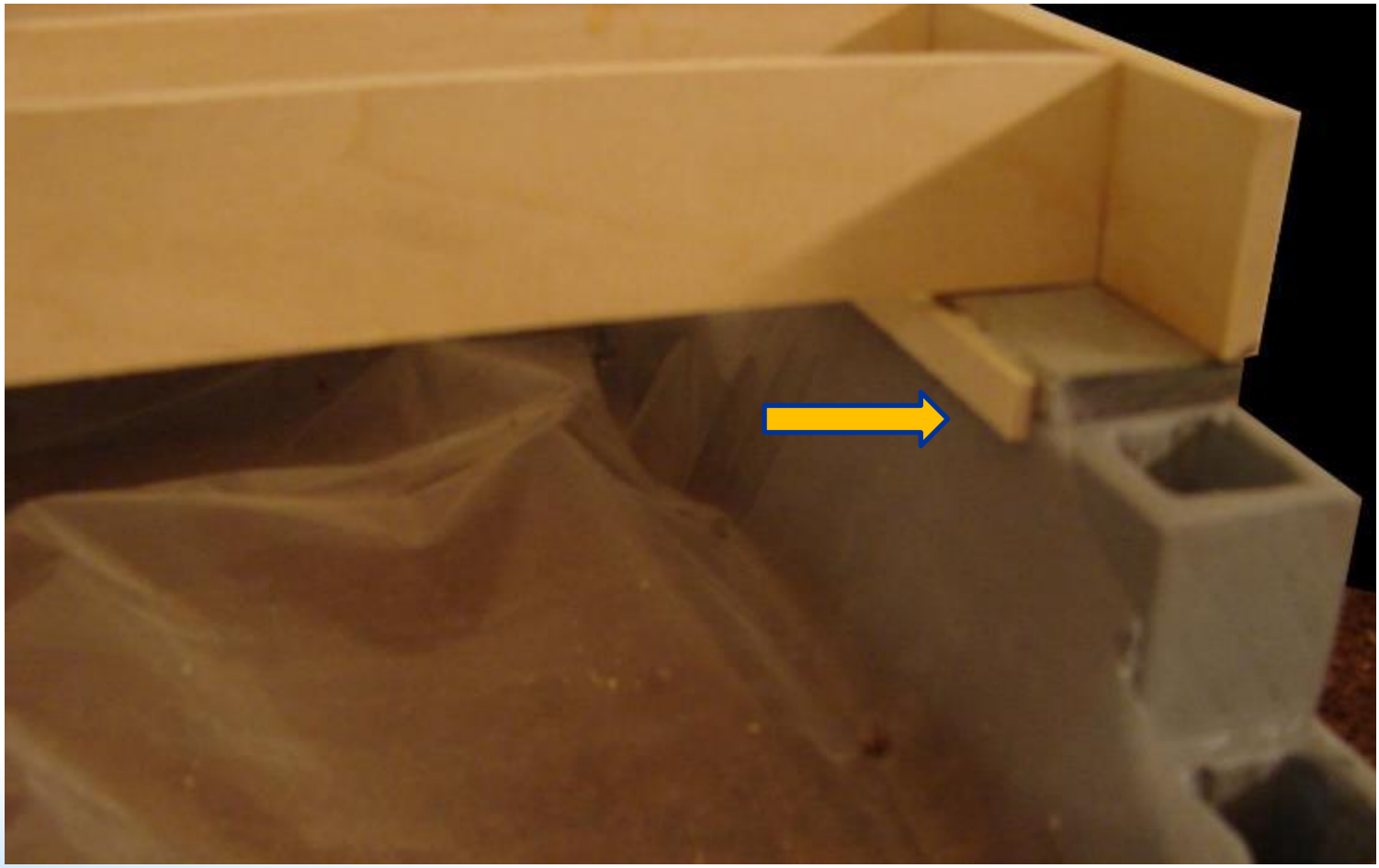


Sistemas similares son eficaces en edificios con espacios de acceso.

Se pueden usar tuberías perforadas para recoger los gases y una estera/plástico de ventilación

Espacio de Acceso Elevado
Instalación del retardador de vapor

- En la base de espacios de rastreo, la membrana debe fijarse a la parte superior de la pared alrededor del perímetro de la base
- Madera tratada a presión se atornilla en los lados de la base de un espacio de acceso



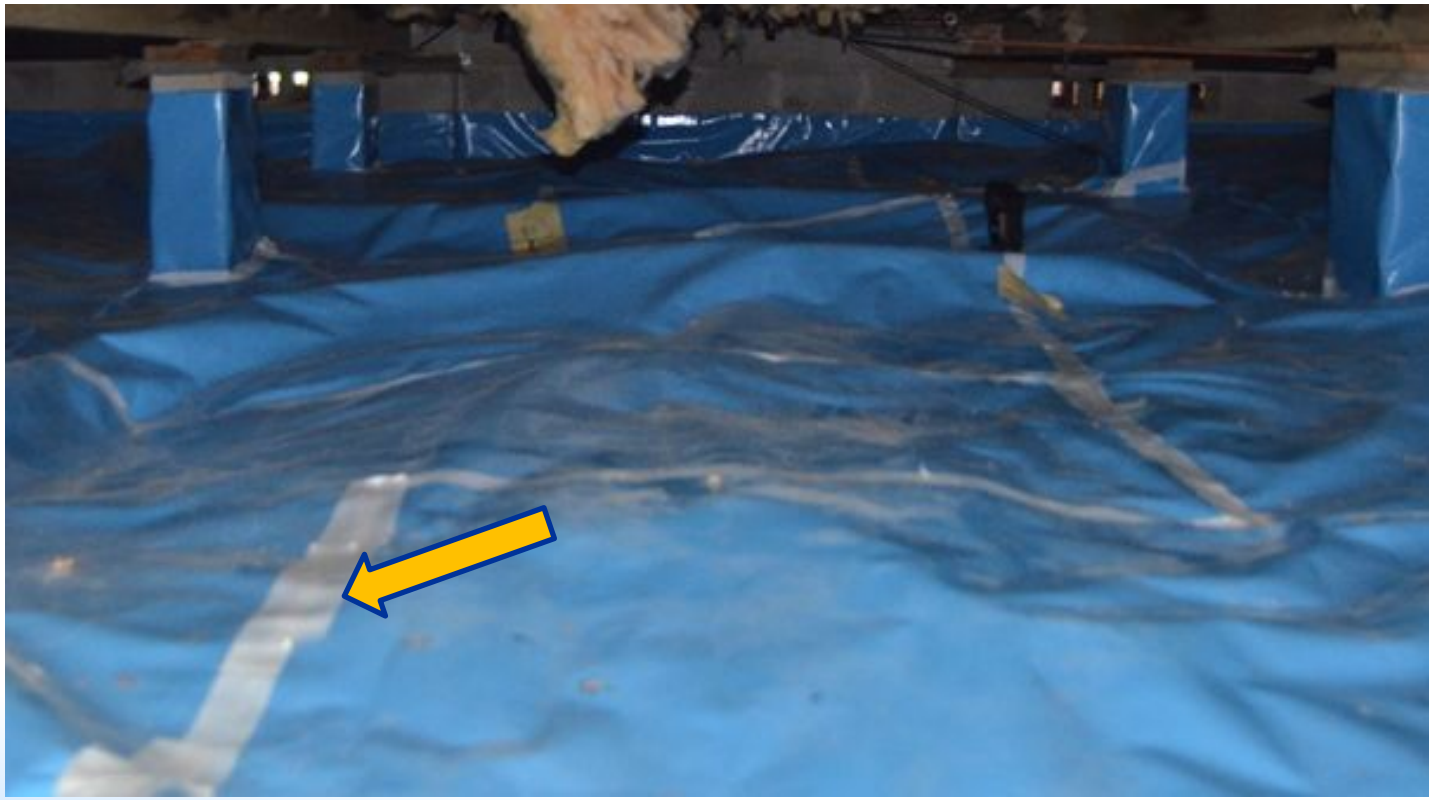
Espacio de Acceso Elevado
Instalación del retardador de vapor

- El retardador de vapor debe sellarse cuidadosamente en el punto de succión
- Cualquier abertura que conecte el espacio de acceso y el espacio interior, deberá cerrarse y sellarse



Espacio de Acceso Elevado
Instalación del retardador de vapor

- Sella todas las posibles penetraciones entre el espacio de acceso y el área habitable:
  - Espumas expansibles de celda cerrada y selladores de poliuretano
  - No se recomienda el uso de cinta adhesiva, ya que se seca y se desprende, algunas son resistentes al calor



Espacio de Acceso Elevado
Instalación del retardador de vapor

- El punto de succión de una estera de ventilación se puede fabricar con un accesorio de drenaje de ducha o de piso



Espacio de Acceso Elevado

- Evite pasar los conductos de HVAC por espacios de acceso Si es necesario, utilice conductos sellados
- Evite el paso del radón a zonas habitables

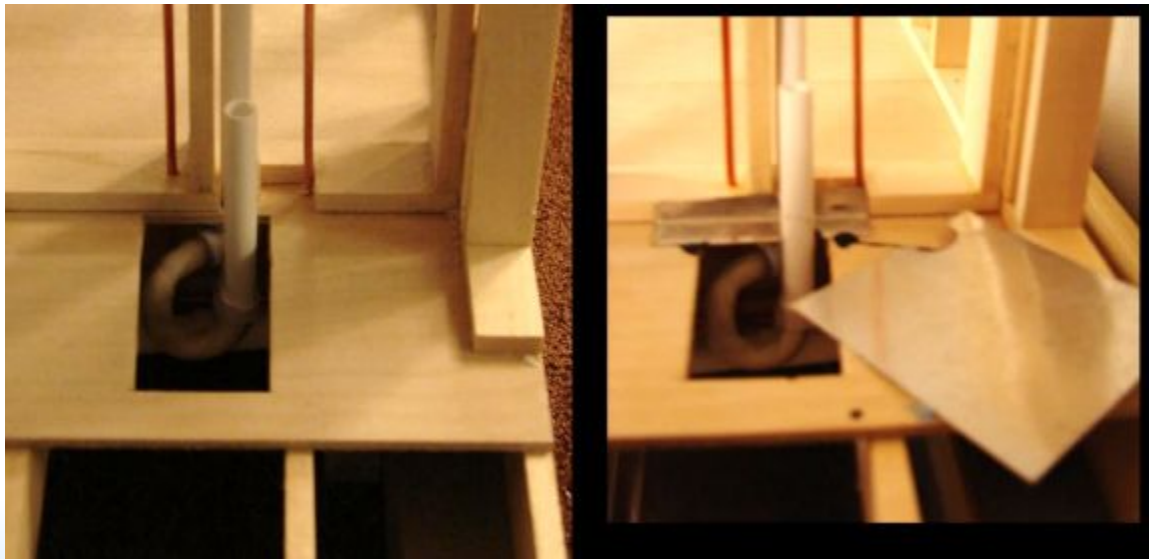




Reducción de la entrada de radón a través de las soleras

- Una base hermética al gas es extremadamente difícil de lograr
- Enfoques para garantizar una base de construcción sólida:
  - Limitar el número de penetraciones intencionales
  - Prevenir penetraciones involuntarias
  - Sellarlas

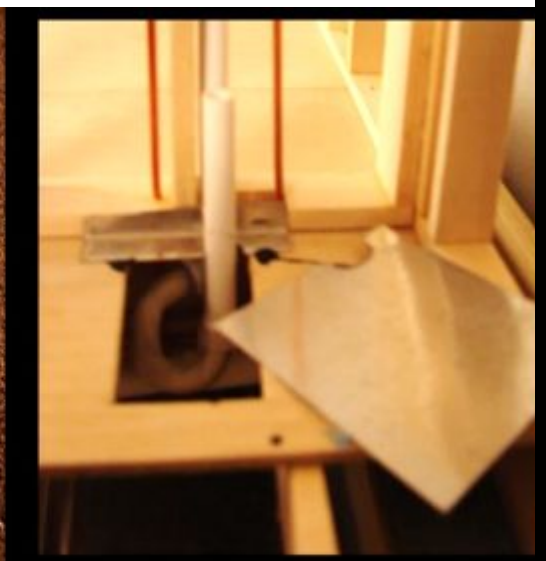




Sellar las vías de entrada del radón

- Agujeros grandes
- Penetraciones eléctricas y de plomería







Prevención de penetraciones accidentales en cimientos

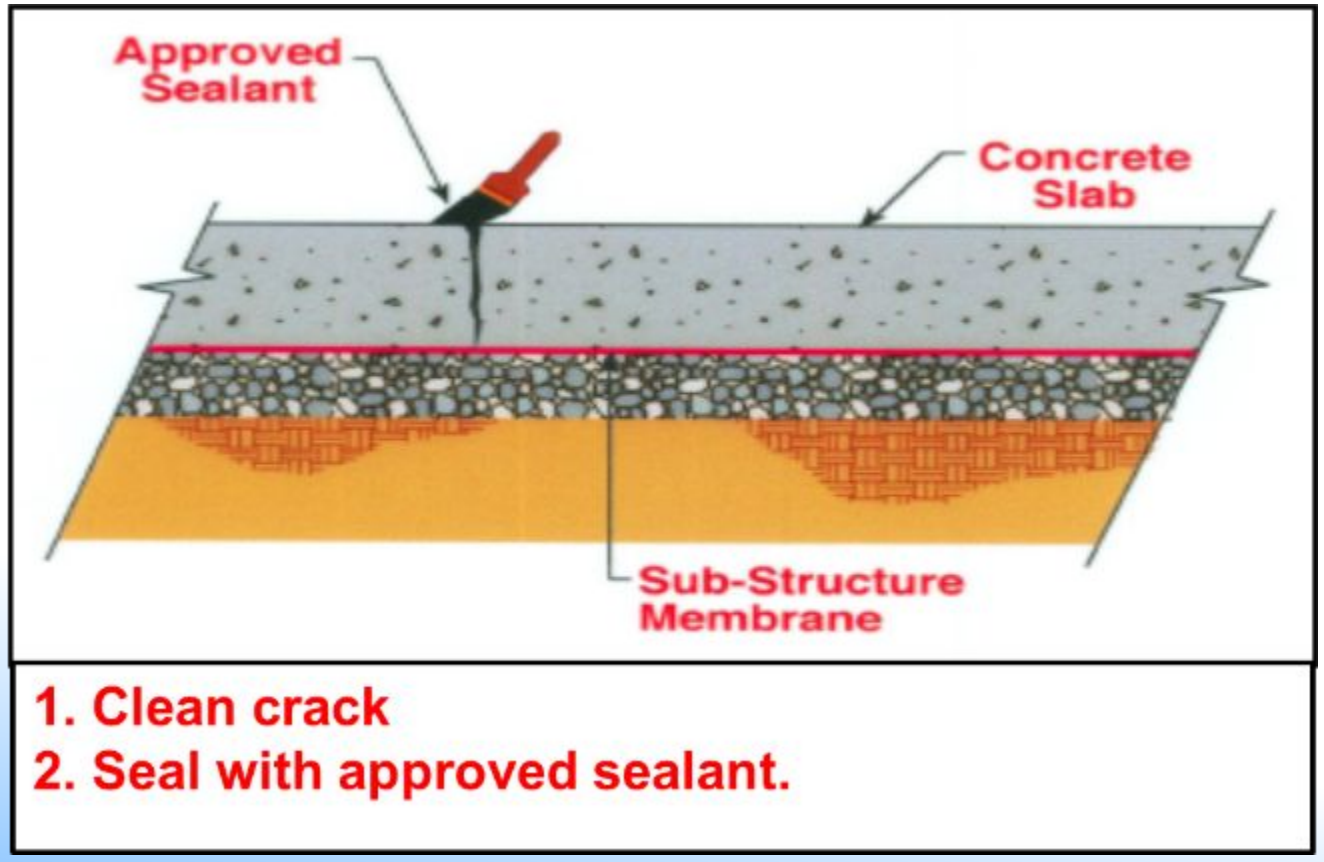
- Prevenir completamente las grietas es casi imposible
  - Curado del hormigon, peso de solera se asienta la solera
- Puede minimizar el número, tamaño y extensión de las grietas

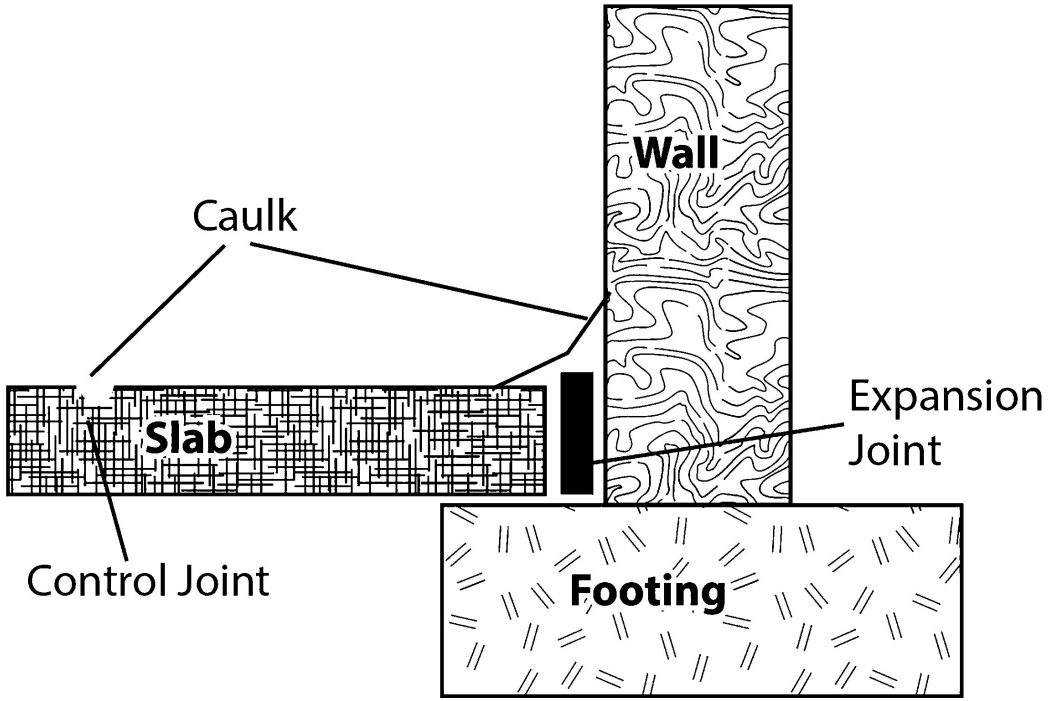


  - Prácticas de construcción estándar del American Concrete Institute;
    - ACl302.1 R-80, Guide for Concrete Floor and Slab Construction
    - ACI332 R-84, Guide to Residential Cast in Place Concrete

Control de las vías de entrada del radón

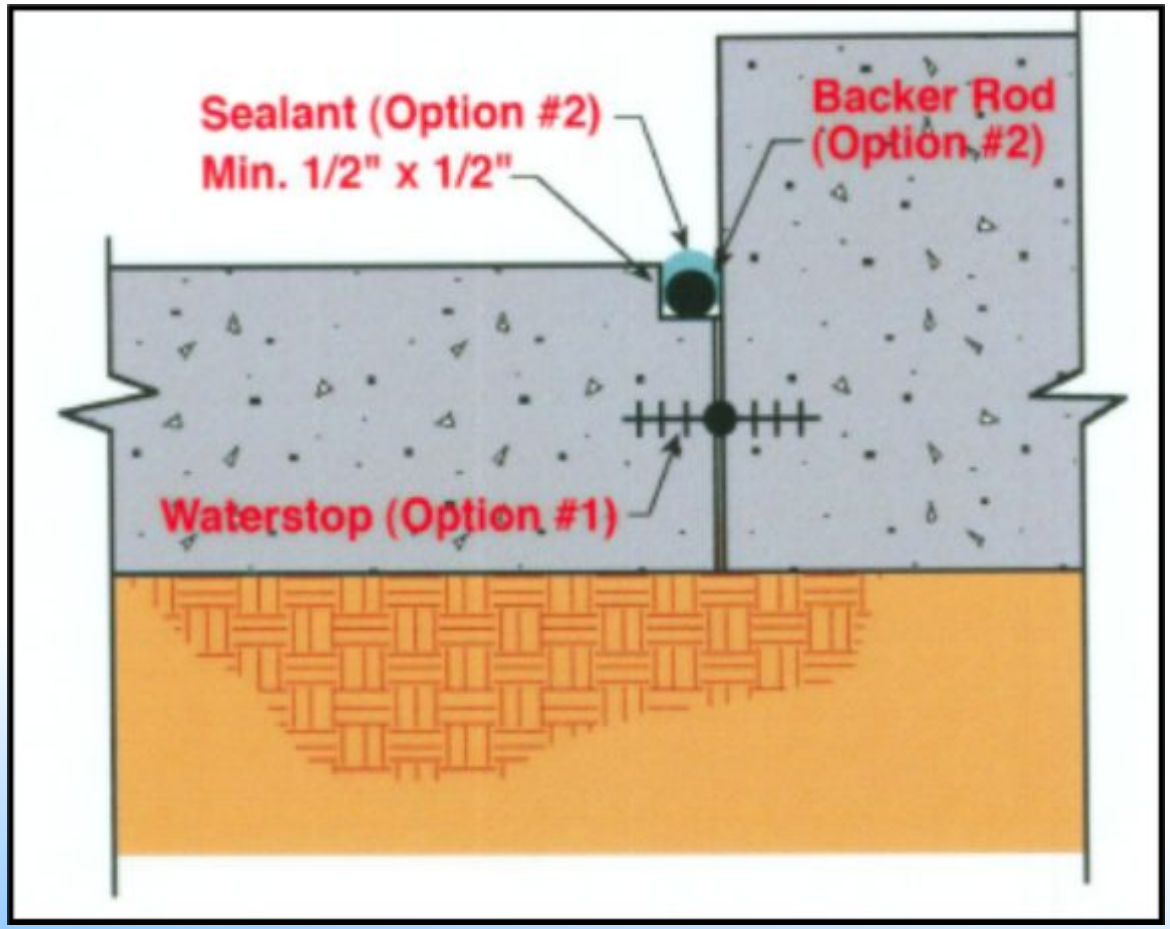
- Penetraciones pueden ser una zona de fuga importante



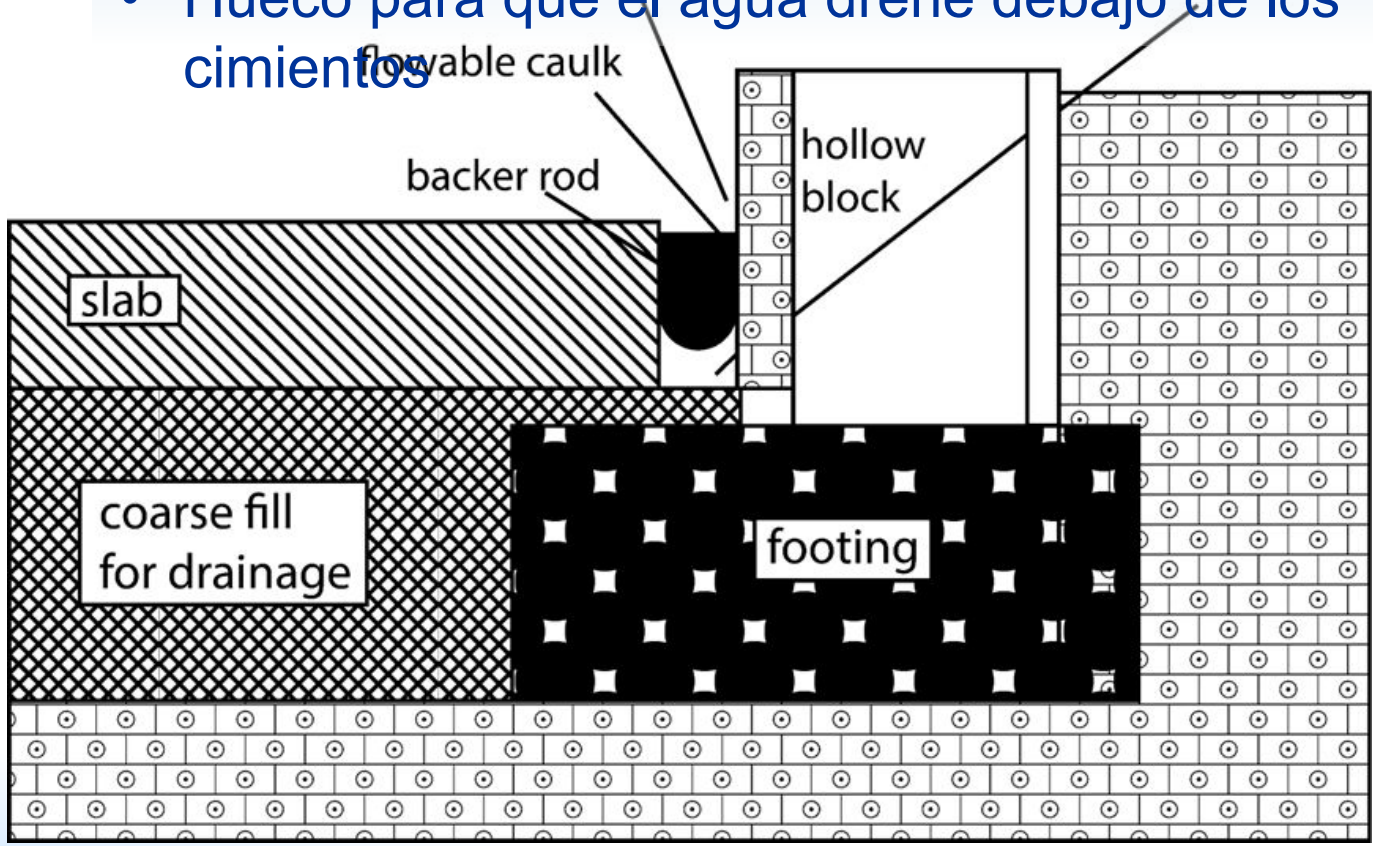


Control de las vías de entrada del radón

- Cuerda de respaldo



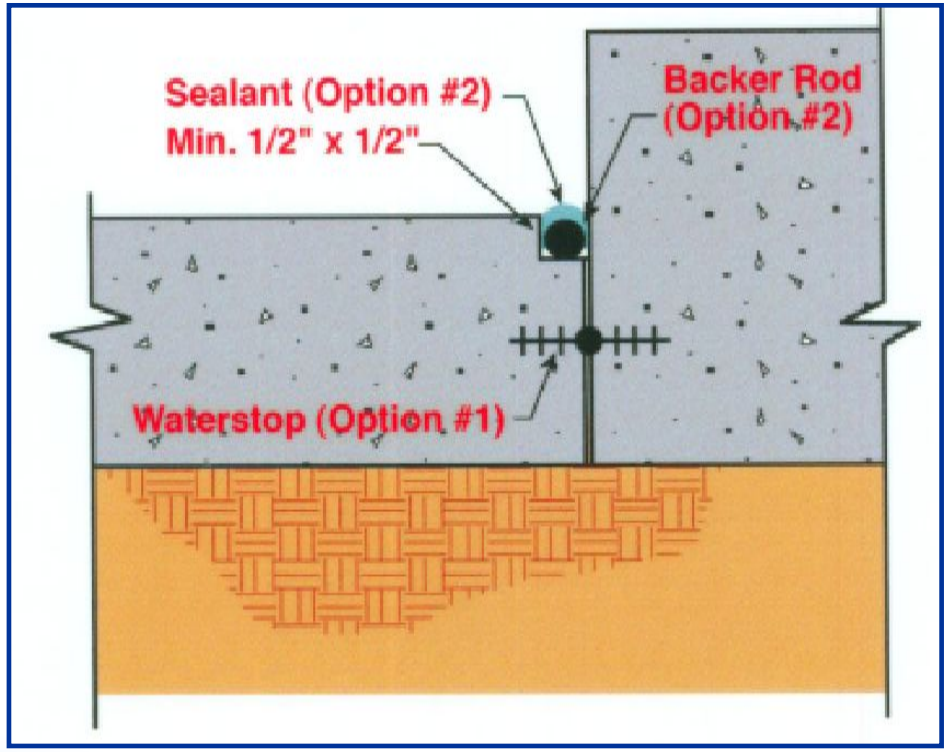
- Asegúrese de que el agua tenga un canal para drenar
- Hueco para que el agua drene debajo de los cimientos



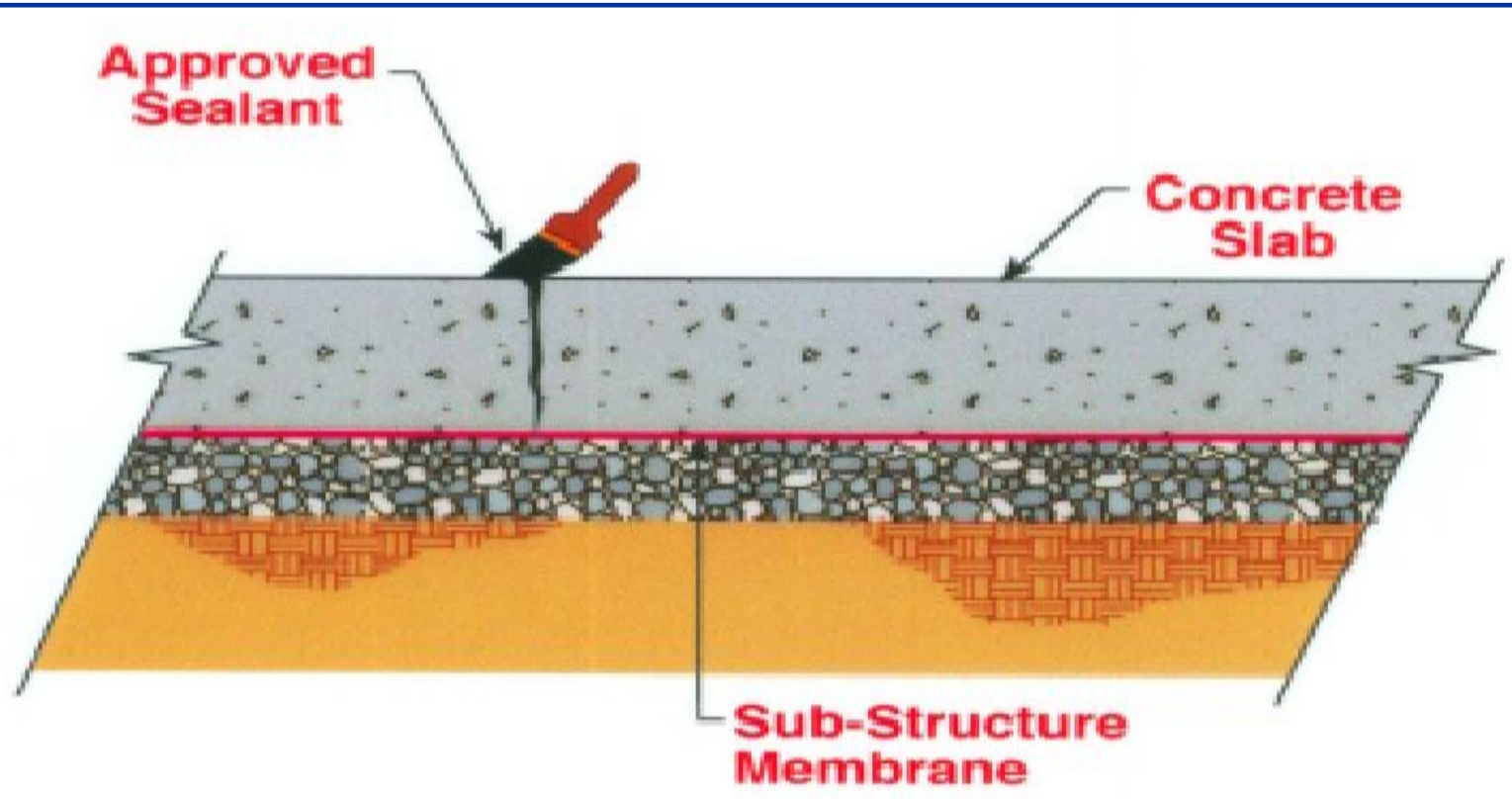
Sellar las vías de entrada del radón

- Las juntas verticales a través de losas se deberán formar con un hueco de no menos de 0,6 x 0,6 cm y se deberán sellar con un sellador aprobado.
- Aplique sellador a las juntas verticales del borde de la losa que se producen en la losa vertida en la construcción del muro de contención



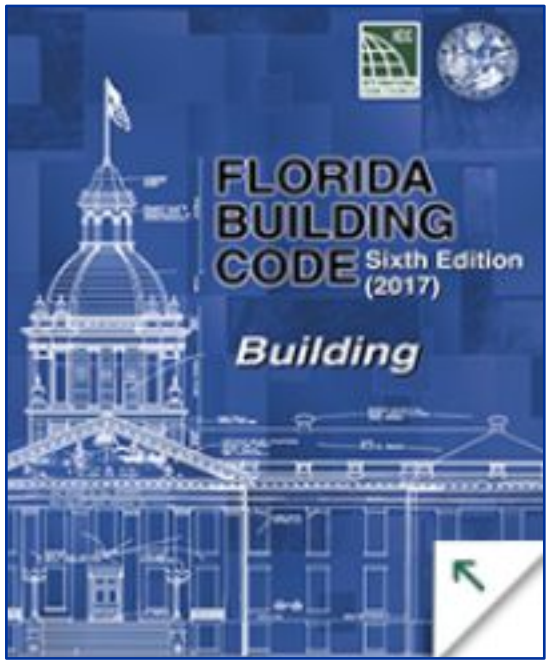


Sellar las vías de entrada del radón



1. Clean crack
2. Seal with approved sealant.

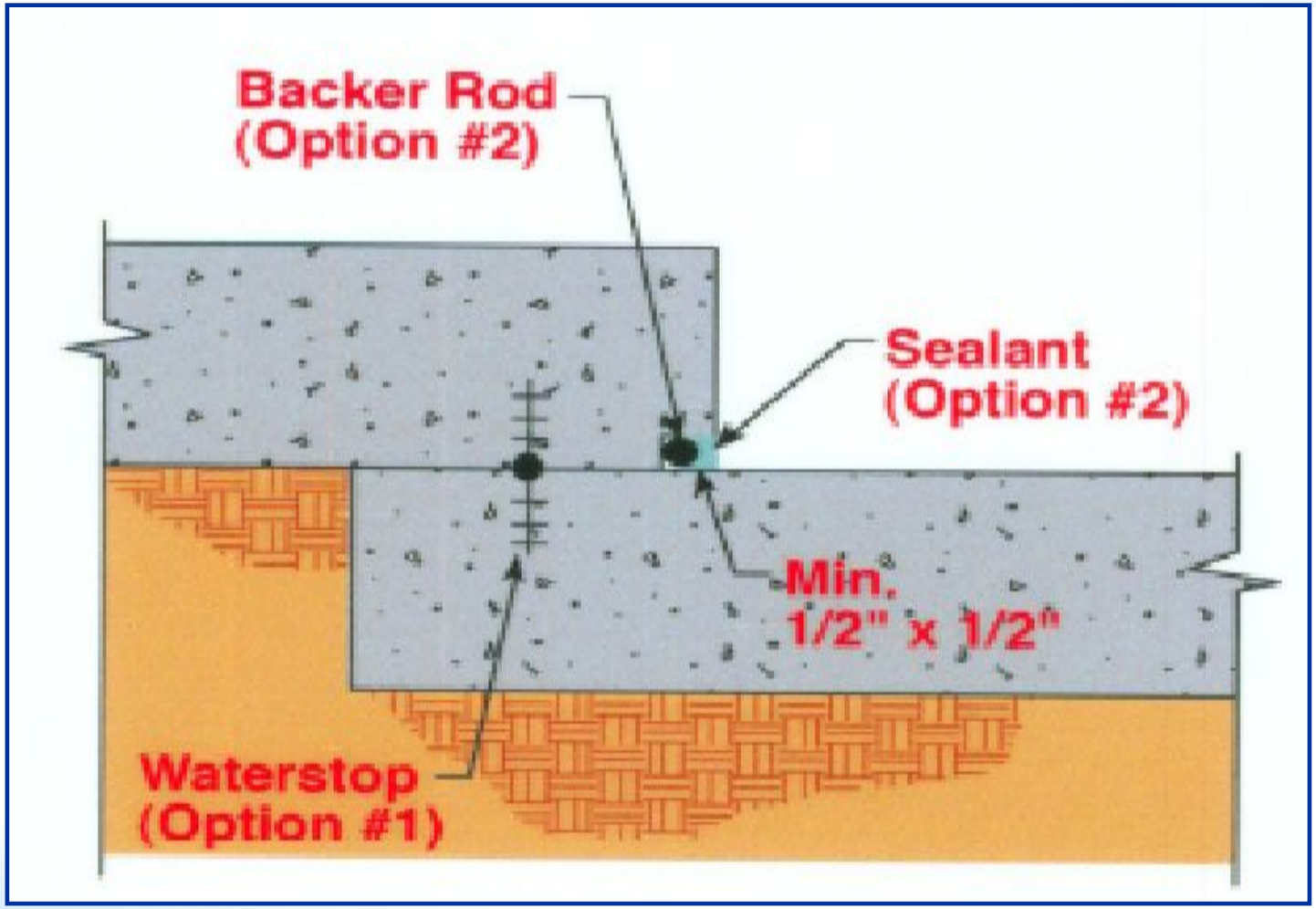
- Limpie fracturas en la losa y aplique sellador



Sellar las vías de entrada del radón

- Aplique varilla de goma de respaldo y sellador a las juntas

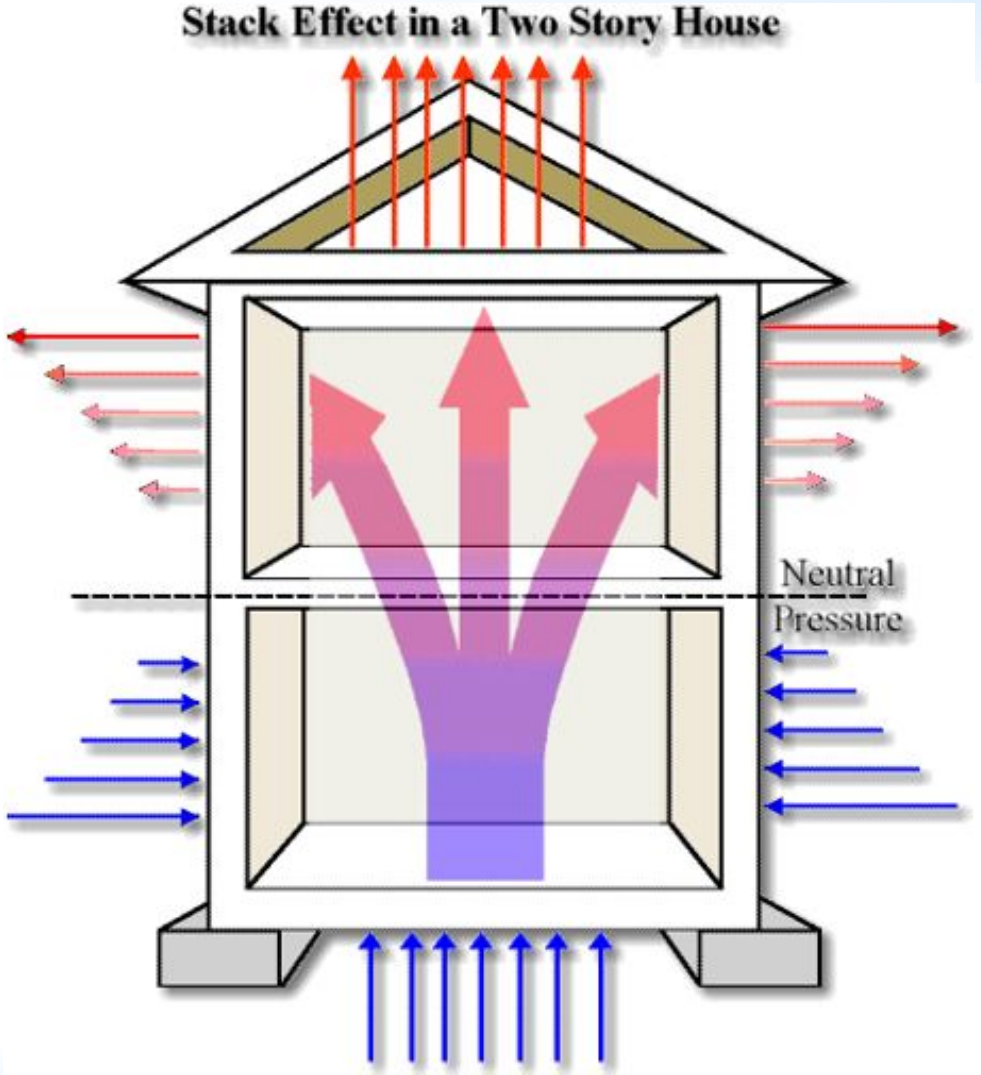
- Juntas horizontales entre **losas de diferentes elevaciones** vertidas en diferentes momentos deben tener contacto horizontal entre las dos cuales de al menos **20 cm** de ancho



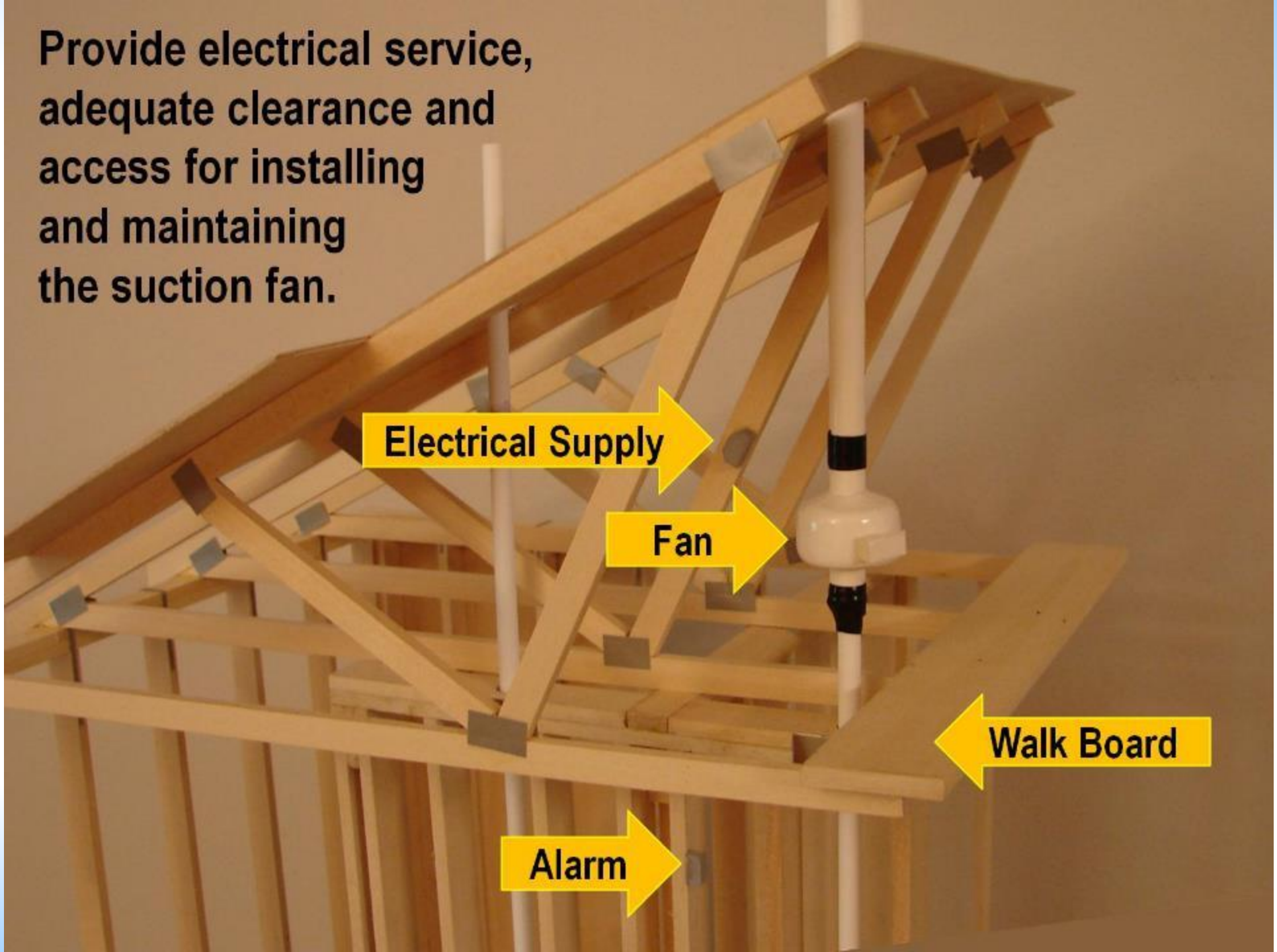
Construcción resistente al radón

Funciona por el Efecto Chimenea - Convección

- **Aire caliente sube** - Aire frío baja
- El Efecto Chimenea es el movimiento del aire hacia dentro y hacia fuera de los edificios
- La flotabilidad del aire se produce debido a una diferencia en la densidad del aire entre el interior y el exterior por las **diferencias de humedad, temperatura,**
- **presión atmosférica**



Ventilador de radón



Ventilador de radón



- Instale la caja de conexiones en un área con espacio libre
- Instale el ventilador si es necesario
  - Espacio de ático desocupado
  - Exterior
  - Garaje si no es un espacio habitable
- Los ventiladores deben desarrollar succión mínima adecuada al sistema

Indicadores del Sistema

- Sistema de advertencia visible o audible - manómetro Tubo-U (diferenciales de presión)
- Marque el sistema
- Instale abanico de ~**90** a 300 Vatios **afuera** o en el **ático** (**por que?**)
- Documentación del sistema









Punto de Descarga

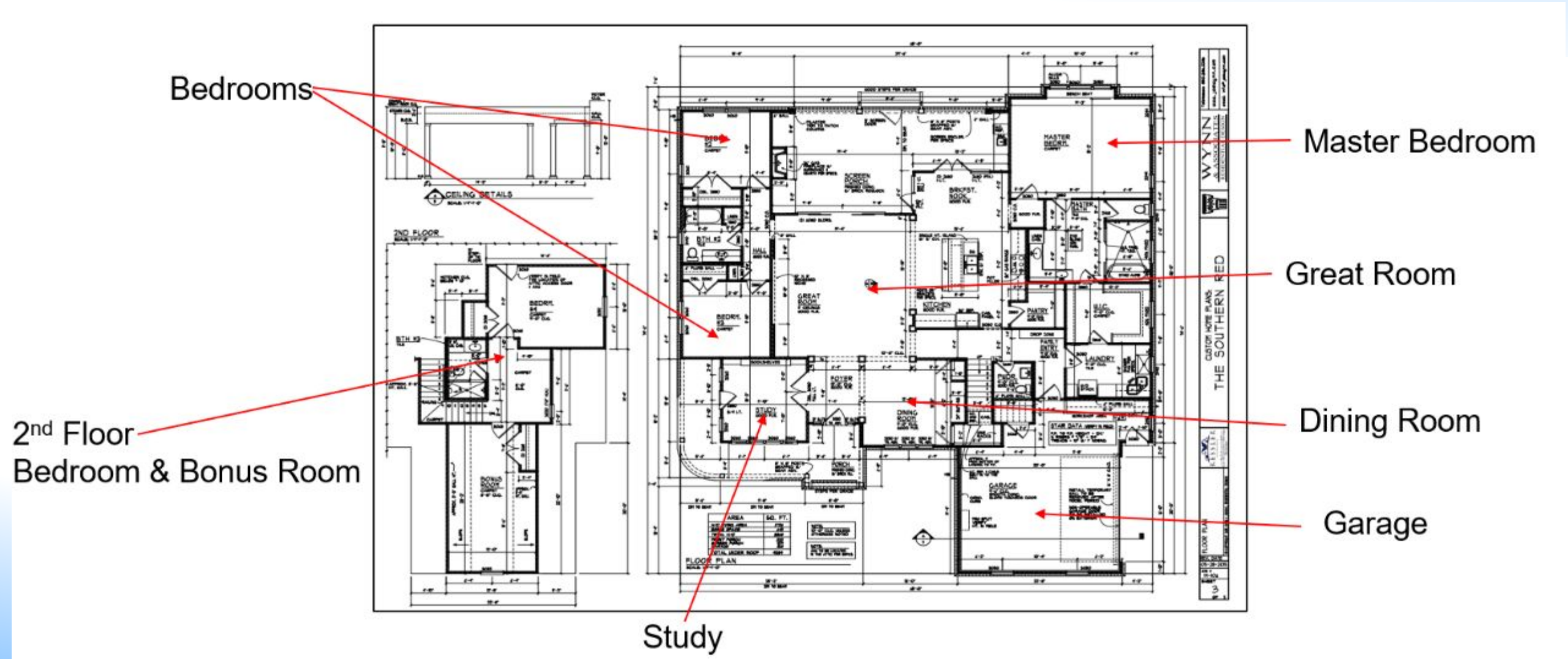
- Descargan radón concentrado (miles de Bq/m^3)
- El radón puede volver a ingresar al edificio a través de los conductos de ventilación, ventanas, el revestimiento
- La mitigación podría fracasar



Construcción resistente al radón - Prevención

- Casa unifamiliar de dos plantas y 300 metros cuadrados
- Recién construida
- Cimentación de losa sobre el terreno
- Se implementaron las características de RRNC

Construcción resistente al radón - Prevención



Construcción resistente al radón - Prevención



- Se conectaron a una capa de recolección de radón bajo la losa
- Se instalaron dos tuberías pasivas para colectar el radón

Construcción resistente al radón - Prevención



- Se utilizaron tres dispositivos de medición diferentes para la inter-comparación
- Se realizaron mediciones con el sistema tapado y sin tapar
- Costo adicional a esta vivienda del sistema fue ~ $ 700





Construcción resistente al radón - Prevención

- Se instalaron



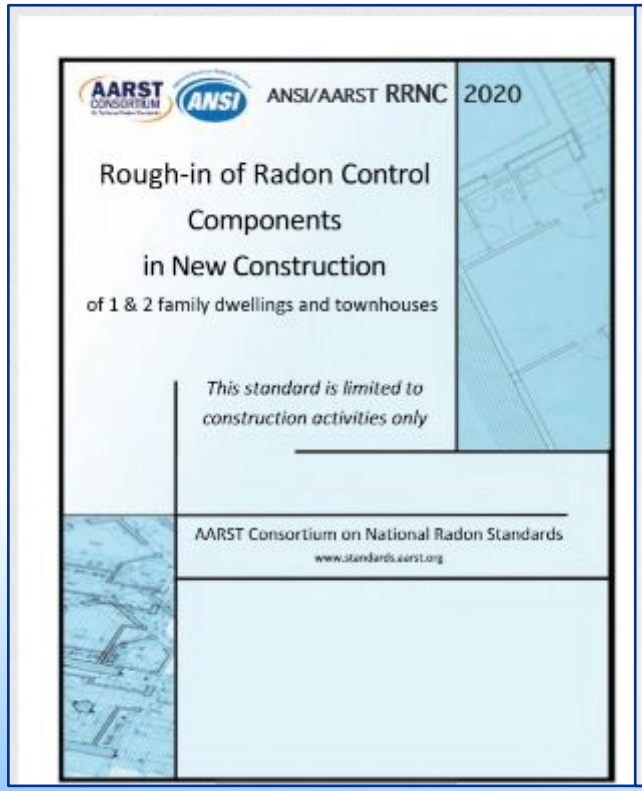


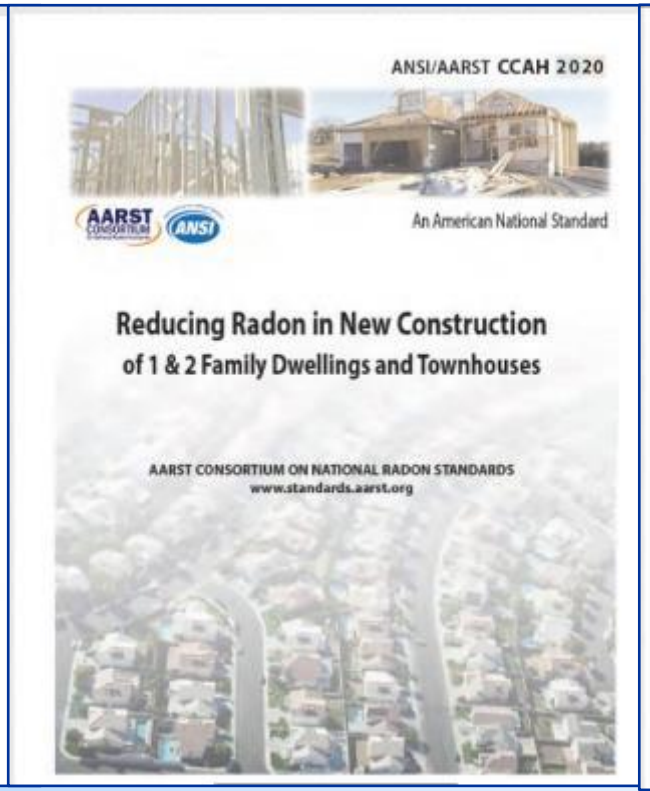
Location	Nivel promedio radón tubo sin sellar (Bq/m3)	Nivel promedio de radón tubo sellado (Bq/m3)	Reducción de radón - sistema pasivo
Sala	59.2	86.95	32%
Comedor formal	62.9	86.95	28%
Dormitorio principal	59.2	90.65	35%
Lavanderia	74	94.35	22%
Lavadero debajo del fregadero	118.4	114.7	NA

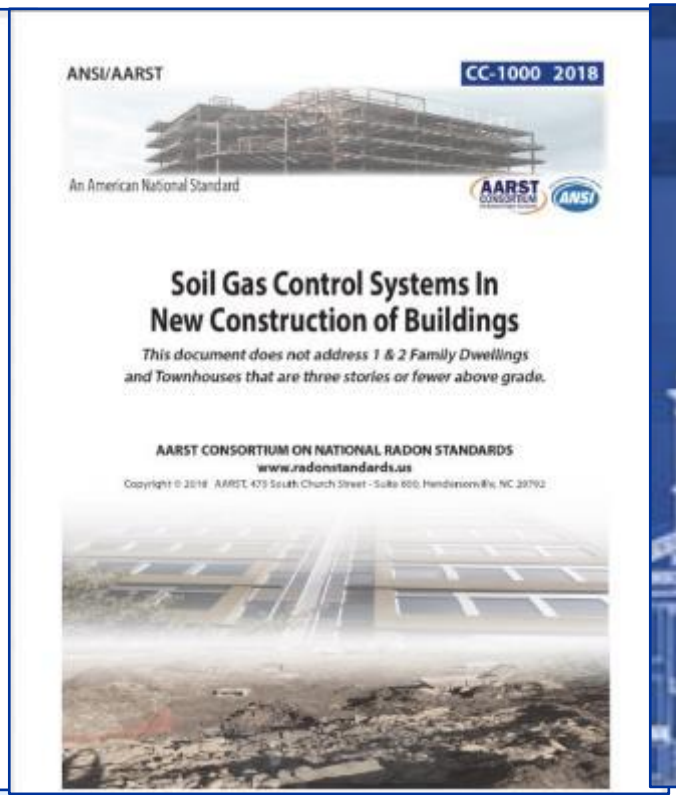


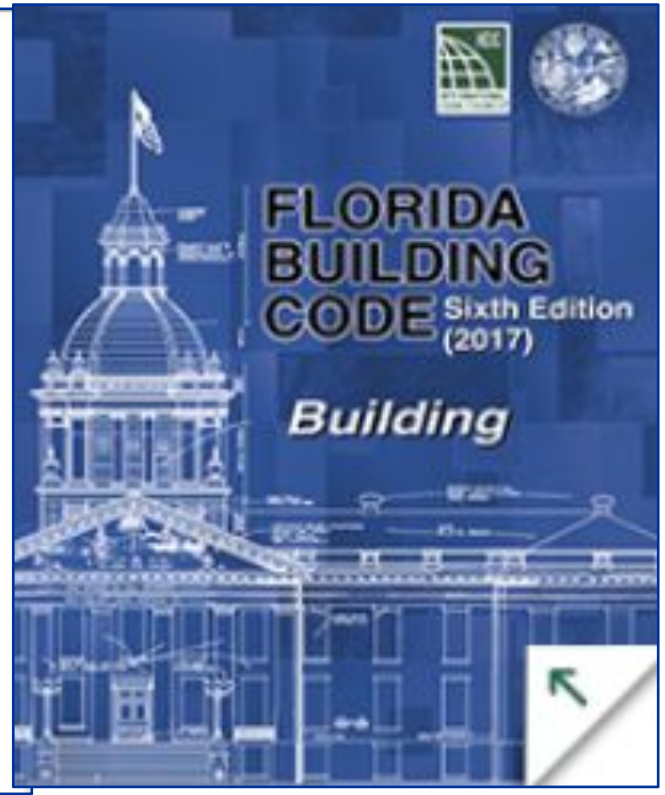
Construcción resistente al radón

Estándares que describen cómo construir un sistema funcionalpara condominios, apartamentos y edificios comerciales



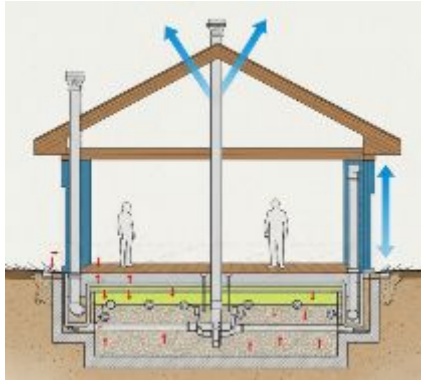






Construcción resistente al radón

- Construir y promover viviendas seguras y resistentes al radón
- ¿Pagar o no pagar los costos adicionales asociados a los sistemas de radón (entre el 0,002 y el 0,004 % del coste del edificio)? - $500-$1000
- Construir viviendas seguras, reducir la principal causa de mortalidad prevenible



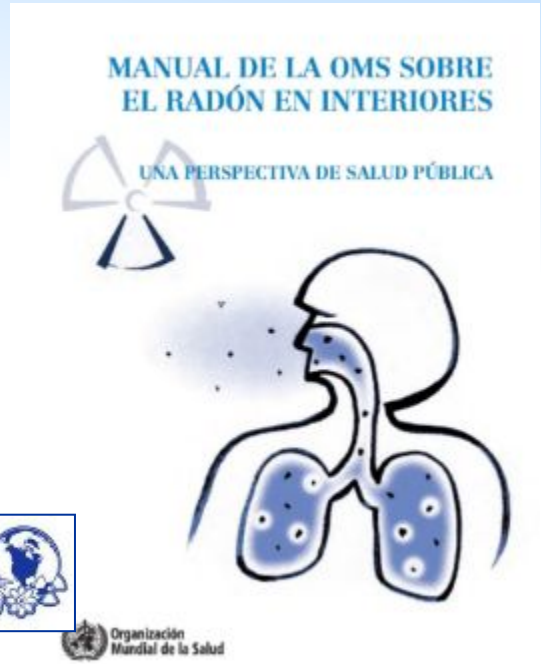
Conclusiones

- Mejor defensa es evitar que el gas ingrese al edificio
- Barreras físicas (láminas de polietileno de alta densidad, sellar herméticamente grietas y aberturas) debajo de la losa bloquean la entrada de radon
- Sistema de ventilación pasiva (despresurización del suelo)
  - red de tuberías debajo de la losa para recolectar gases
  - canalizarlo de forma segura al exterior por encima del tejado
  - Sistema es efectivo sin necesidad de energía

Conclusiones

- Medidas implican costo inicial, significativamente menor que el costo de mitigar el problema en una estructura construida
- Prevención durante la construcción de nueva edificación es el método más efectivo, fiable y económico para proteger a los ocupantes
- Prevención del radón mediante técnicas de construcción es una práctica de ingeniería responsable, y una inversión en la salud pública

Un problema de salud pública



UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

World Health Organization

AMA AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION

NCRP National Council on Radiation Protection & Measurements

HEALTH EFFECTS OF EXPOSURE TO LOW LEVELS OF IONIZING RADIATION BEIR V

AMERICAN LUNG ASSOCIATION.

U.S Department of Health & Human Services Office of the Surgeon General

OIEA

Cancer causado por descendientes de radón ha sido bien establecido por la comunidad científica.
Nuestra acción es eminente.

Contacto

Jorge Laguna, Físico de Salud
Oficina de Control de Radiación de Florida
http://radon.floridahealth.gov
Jorge.Laguna@FlHealth.Gov
850-245-4397

Técnicas y estrategias de mitigación y control del radón

Jorge Laguna, Jorge.Laguna@flhealth.gov
Administrador Ambiental
Oficina de Control de Radiación de Florida
Estados Unidos

Objetivos

- Disminuir la concentración de radón en el interior
  - Aire
  - Agua

- Prevenir la entrada del gas desde el suelo

- Garantizan un ambiente saludable a largo plazo reduciendo la exposición al radón y sus descendientes y disminuir la incidencia del cáncer de pulmón



Control y Mitigación de Radón

Control y Mitigación de Radón

- Estrategias en Edificios Existentes (Mitigación y Control) se implementan cuando se detectan niveles elevados de radón en edificios
- Primero medir los niveles de radón
- Mitigar si están sobre valores de referencia de la OMS

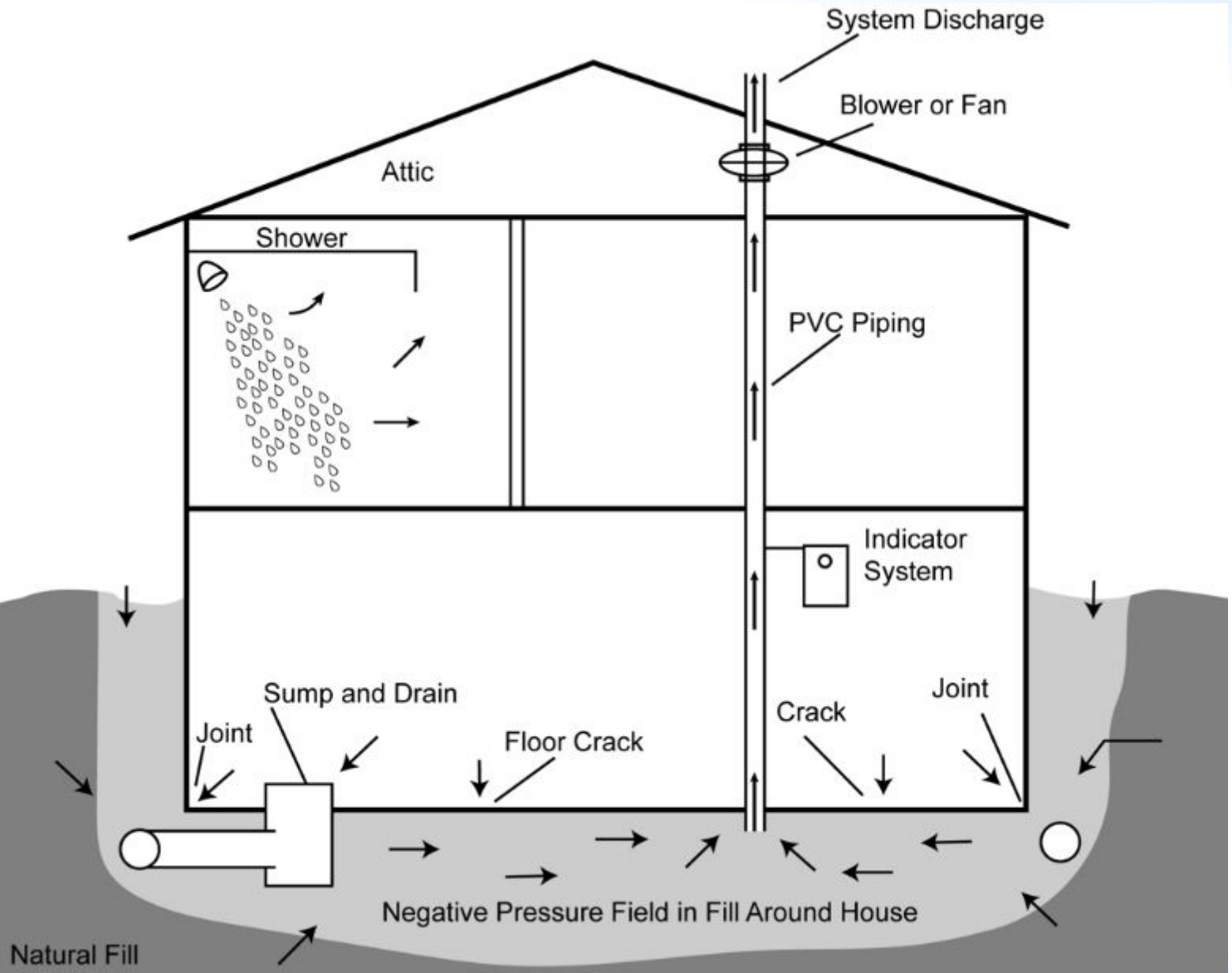


Control y Mitigación de Radón

- Despresurización del terreno
  - Terreno ≤ presión interior (5 Pascales negativos al edificio)
- Barrera y Sellado de puntos de entrada
- Sistemas de ventilación
  - La dilución es la solución a la contaminación
- Mitigación del agua

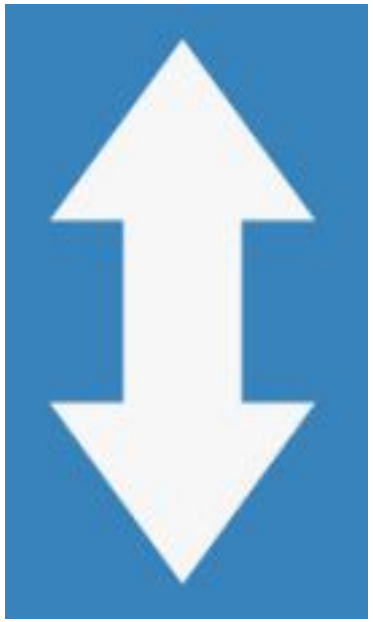


Control del transporte de entrada por presión



- Punto de descarga
- ventiladores - succión
- Tubería PVC
- Sistema indicador
- Extrae gases
- Flechas - dirección del flujo de aire con despresurización
- Agua de pozo

Control del transporte de entrada por presión



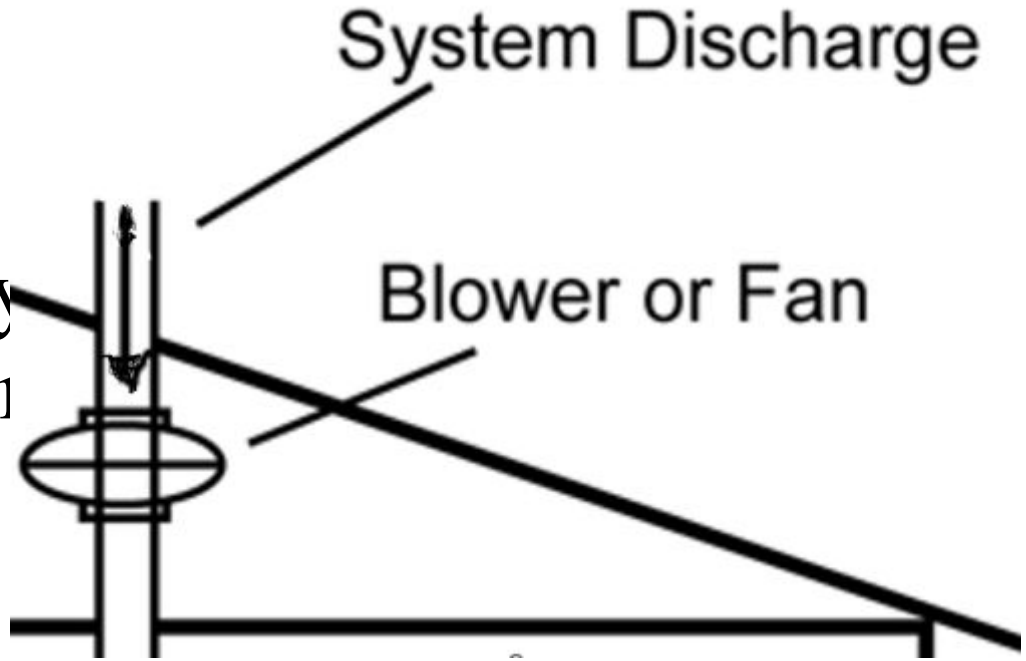


- Razón principal del éxito de estos es la **inversión de presión** (por lo menos 5 pascales negativos)

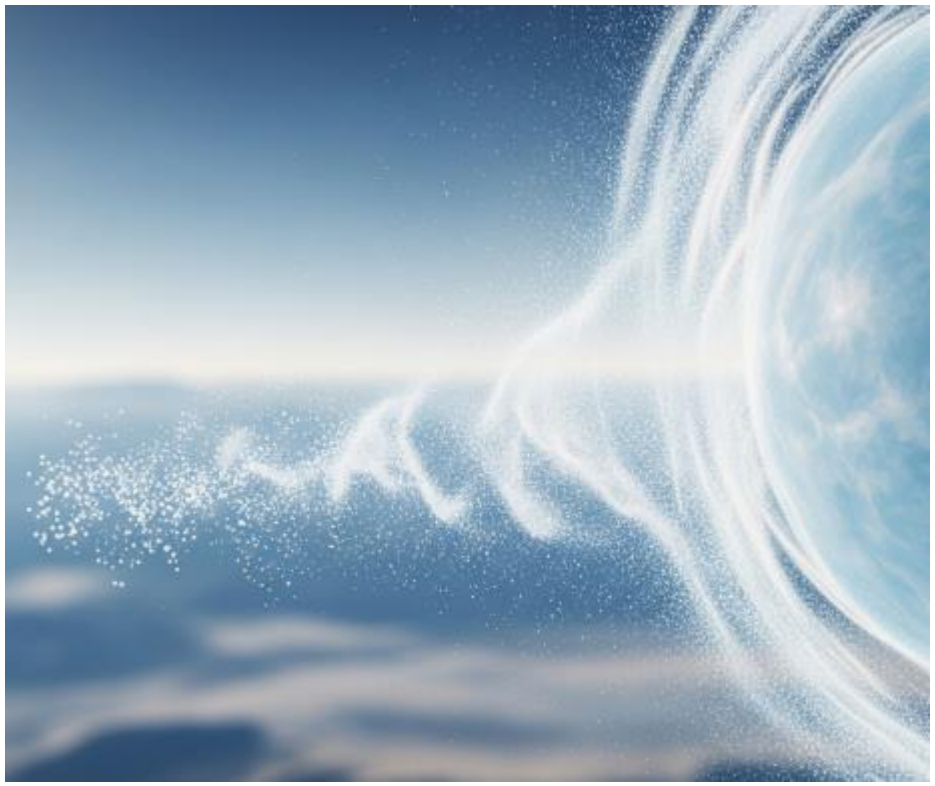
- Sistemas aumentan el flujo de aire a través del suelo (pared de bloques, baldosa de drenaje, etc.), diluyen concentraciones radón

Control del transporte de entrada por presión

- Técnicas menos utilizadas:
  - Inversión de presión con un ventilador para presurizar todo el edificio o la subestructura
  - Aplicación de un sellador o membrana a la superficie de piedras y granito que sea resistente a la difusió del radón

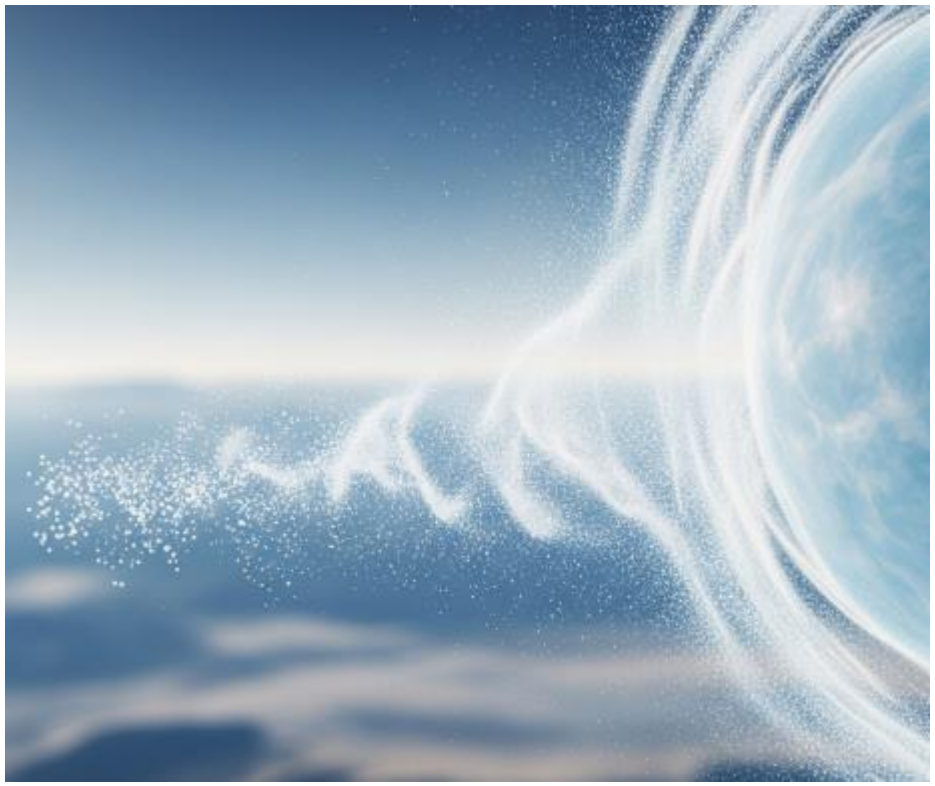


Control de las vías de entrada del radón



- El radón entra, se **mezcla** con el aire interior, se **diluye** a la concentración a la que estamos expuestos
- **Adición de aire** fresco exterior reducirá concentraciones de radón y productos de desintegración

Control de las vías de entrada del radón



- **Ventilación natural** a través de las aberturas (ventanas, puerta) puede **reducir** los niveles de radón
- La cantidad de ventilación necesaria para reducir el radón puede causar un **problema de humedad** y moho, incomodidad y **costos** excesivos de energía

Control de las vías de entrada del radón

- Grietas y juntas con anchos menores de 1,6 mm se deben reparar con un material elastomérico capaz de soportar una extensión ≥ 25% y extenderse al menos 100 mm de la longitud y el ancho de la grieta

- El Cañón del Colca:

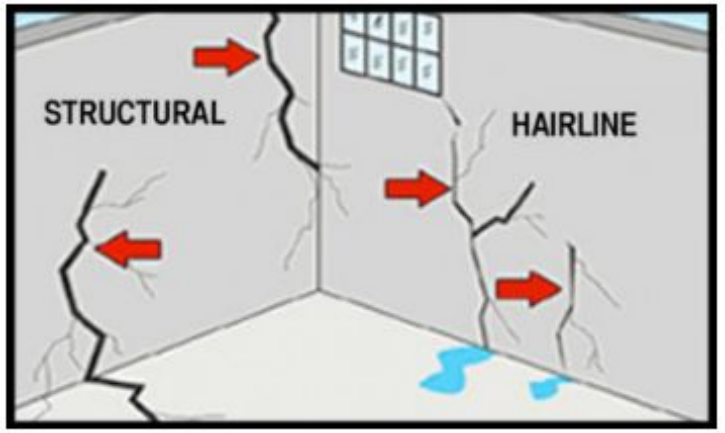
  El reino del cóndor!





Control de las vías de entrada del radón

- Sellar independientemente deficiente, puede mejorar el rendimiento del sistema, mejorando el campo de **presión negativa** bajo el suelo





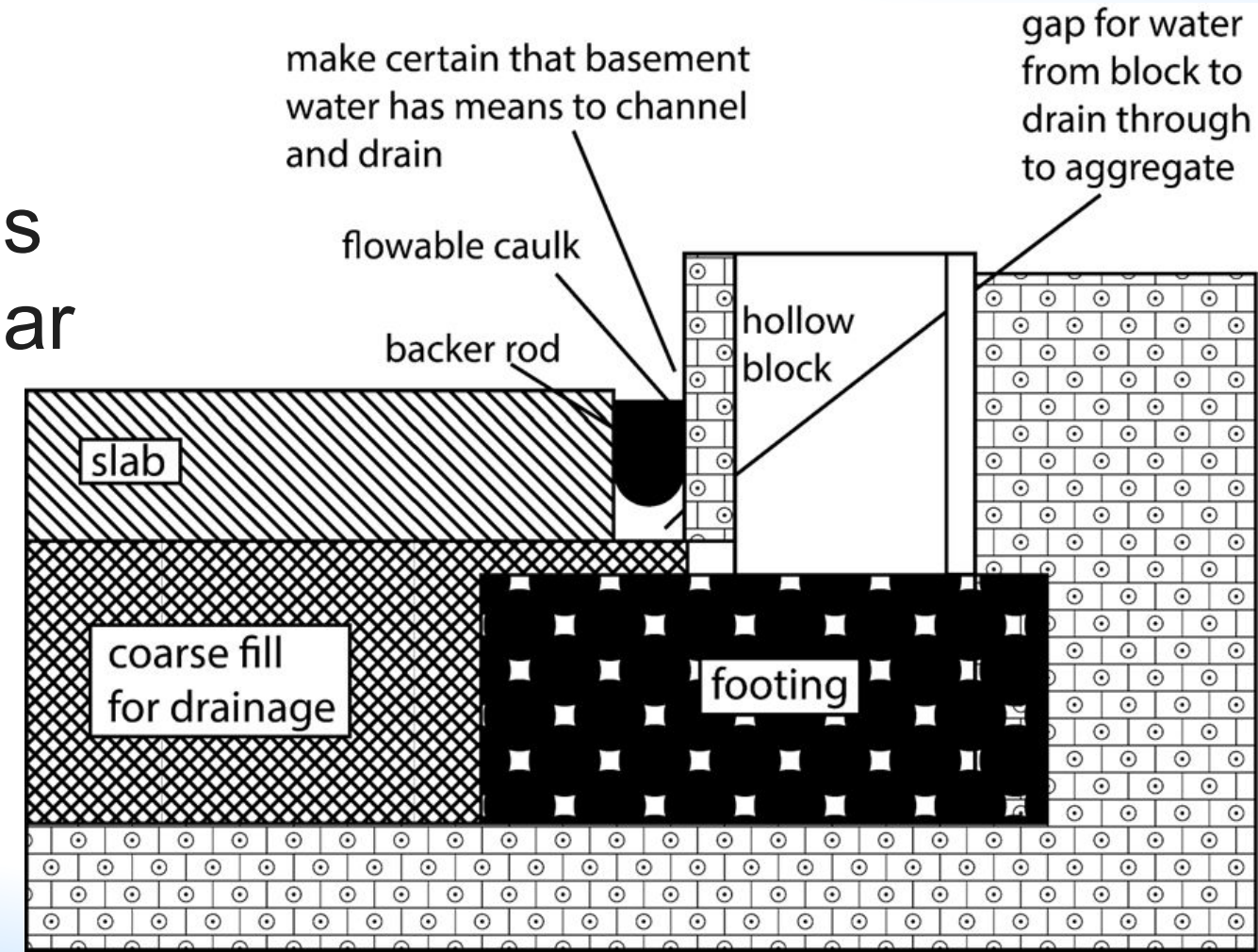


Control de las vías de entrada del radón

- Sellado de un **canal de drenaje** o una junta de piso a pared

- Abiertas pueden constituir vías de entrada de radón y degradar el rendimiento del sistema

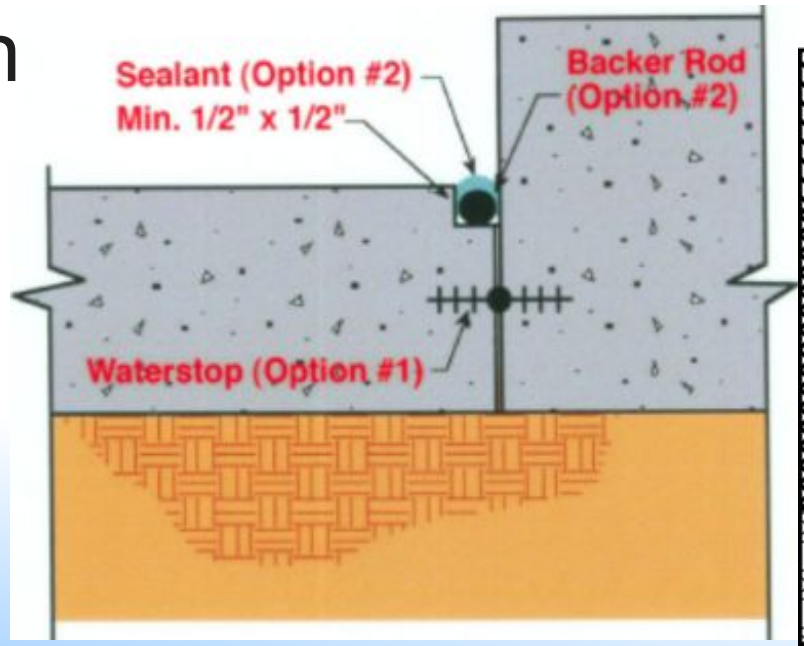


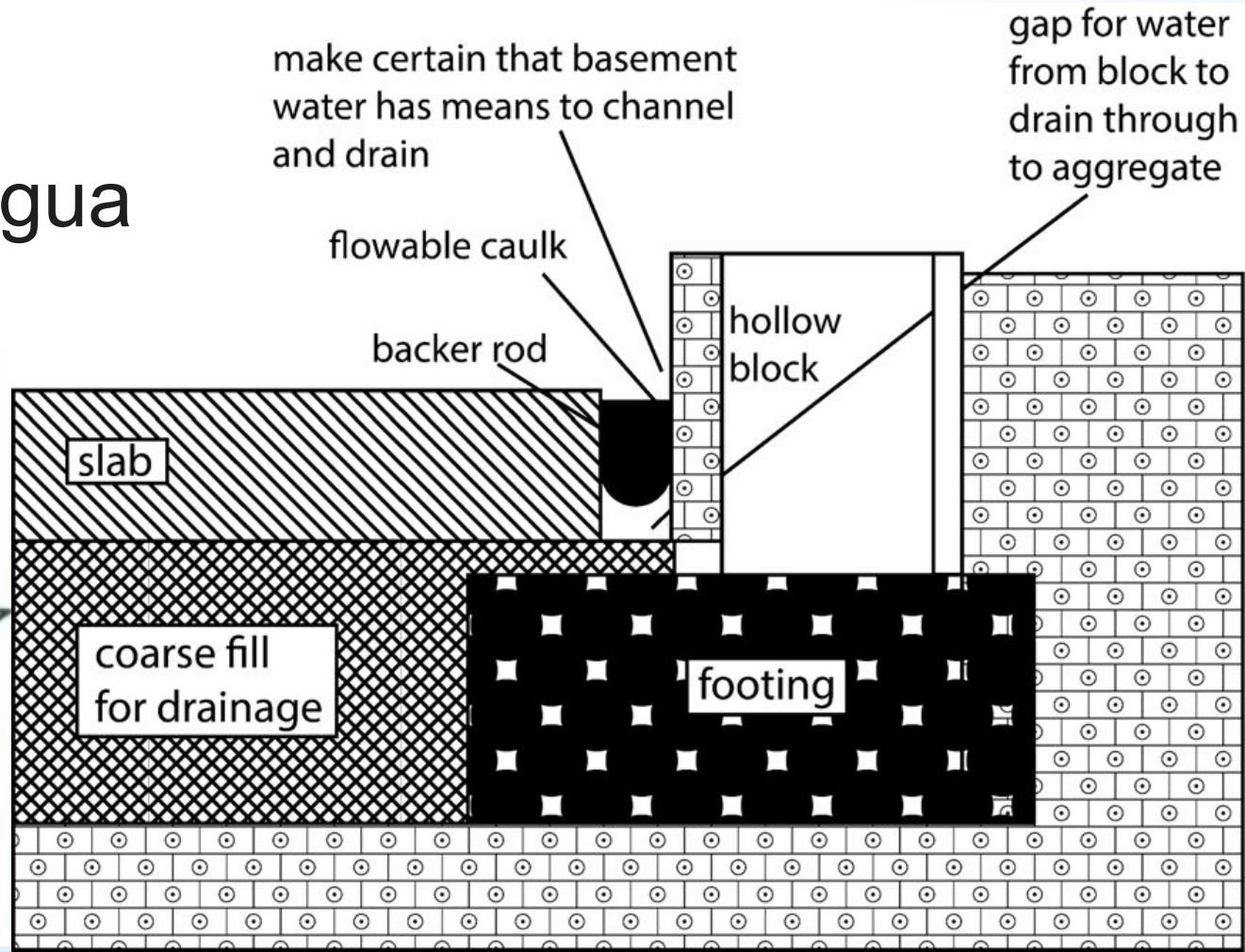


Control de las vías de entrada del radón

- Instale una varilla de respaldo (backer rod - tira de espuma plástica flexible) en el drenaje
- Deje un espacio para que el agua drene desde la base de la fundación

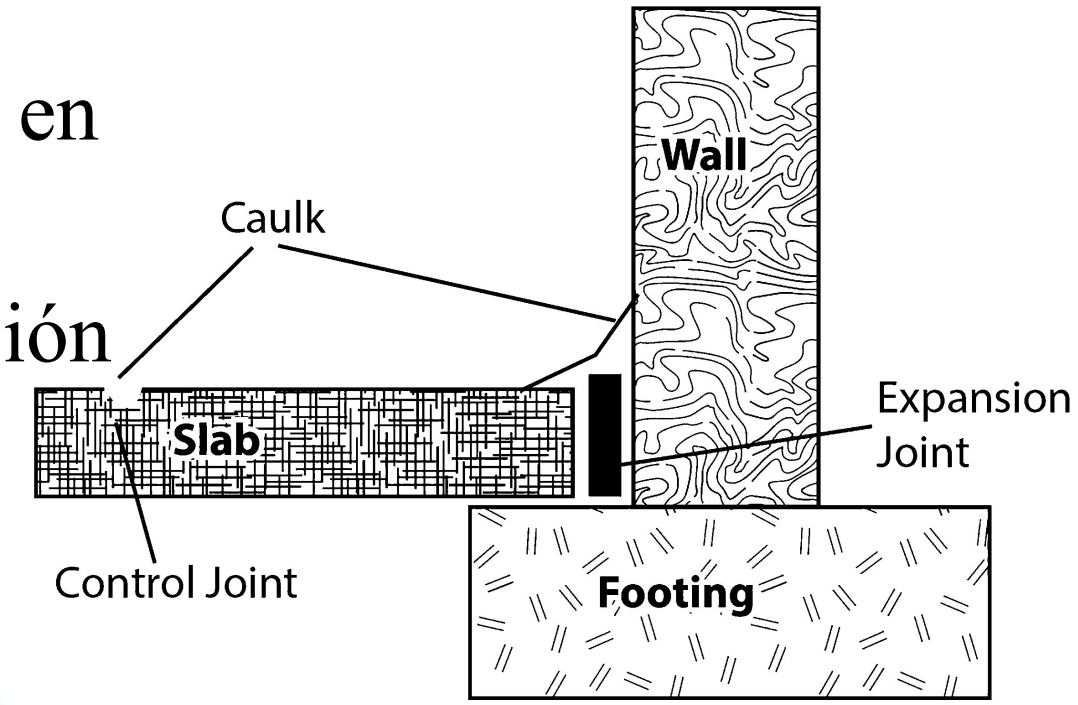






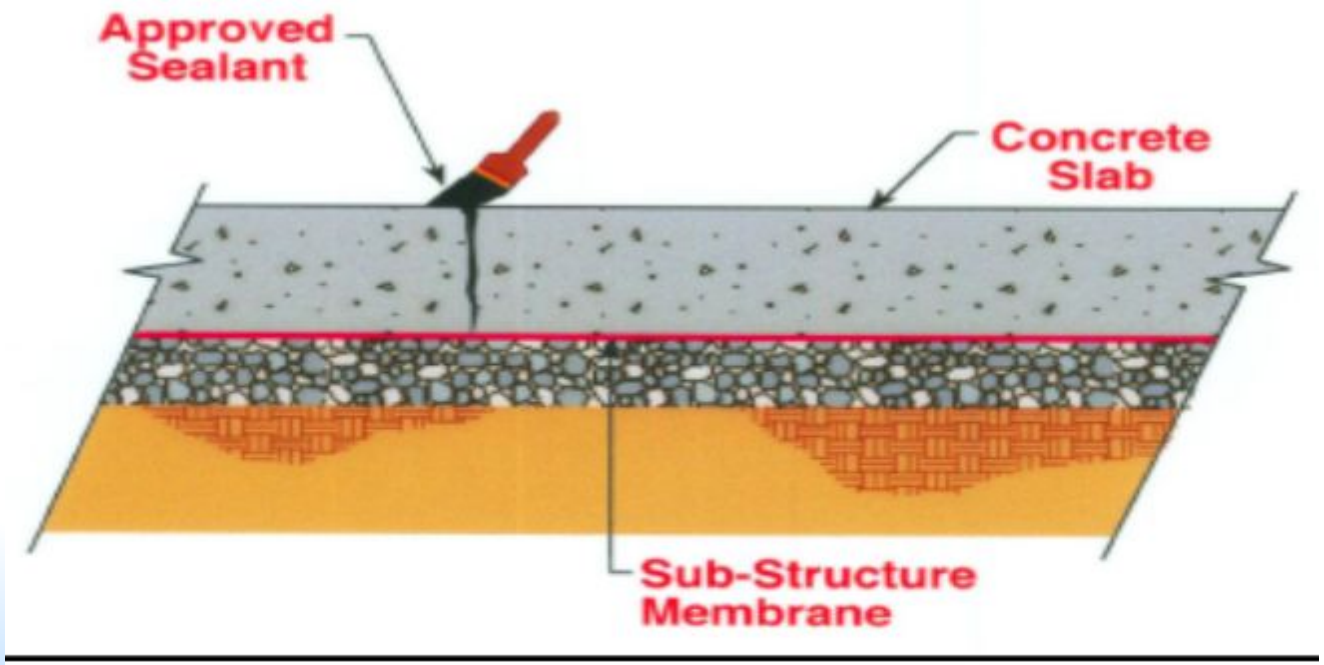
Control de las vías de entrada del radón

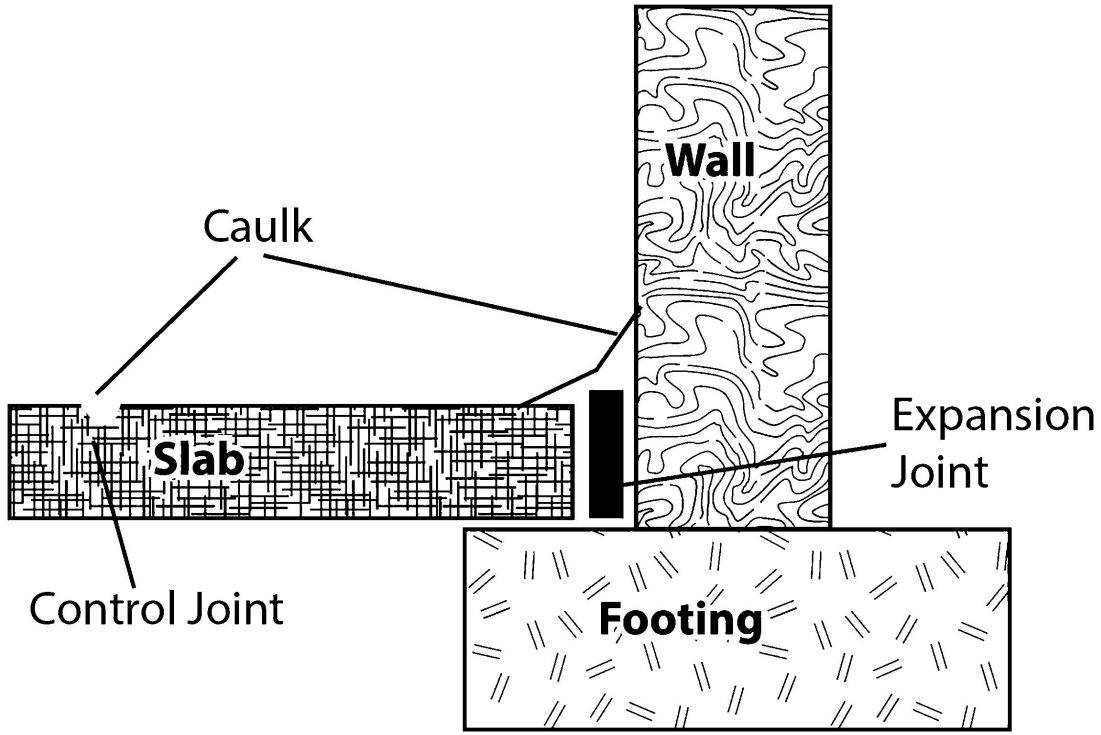
- Sellado de juntas de expansión y juntas de control de suelo/pared
- Permiten que la losa se mueva más fácilmente, en caso de que el suelo subyacente crezca debido a un cambio en humedad
- Por lo menos 8” de ancho - superposición



Control de las vías de entrada del radón

- Puede ser una zona de fuga importante
- Deberán limpiarse y sellarse

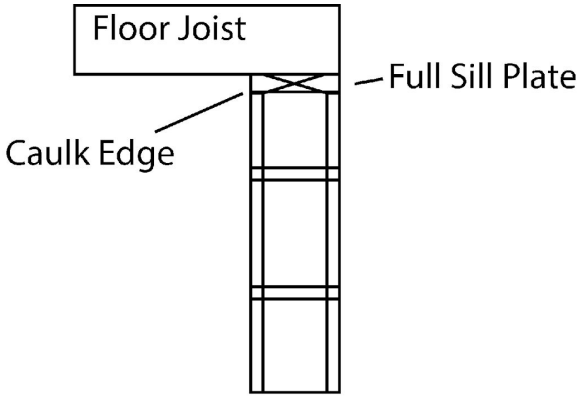


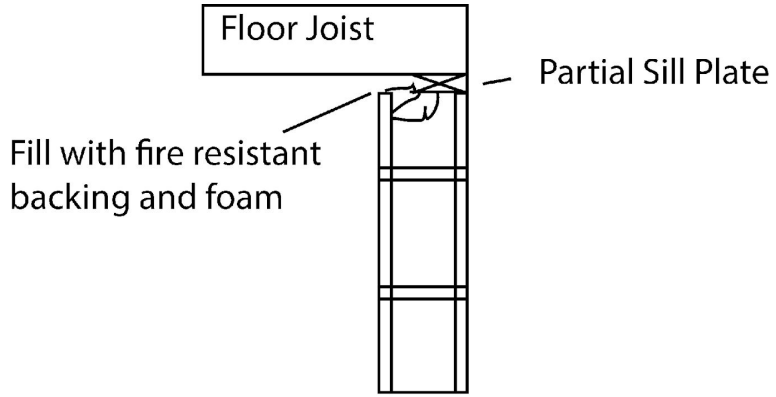


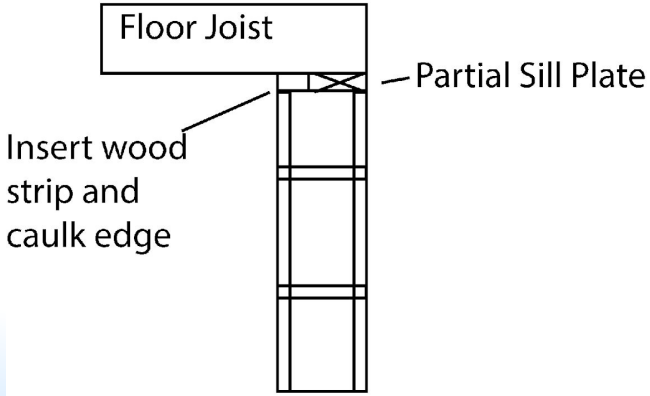
Control de las vías de entrada del radón

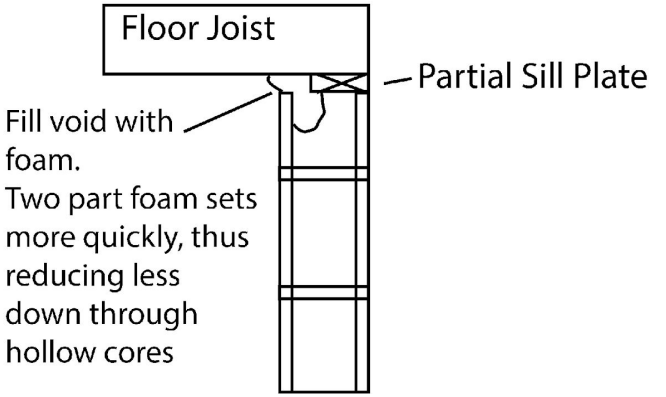
- Selle agujeros grandes que penetran las superficies de la solera o cimientos
- Selle partes superiores de paredes de bloques





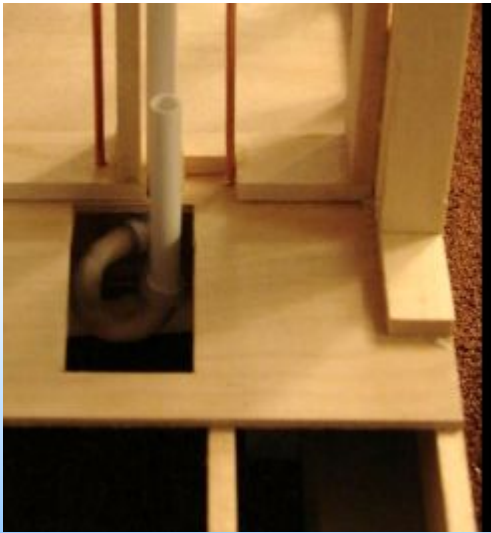


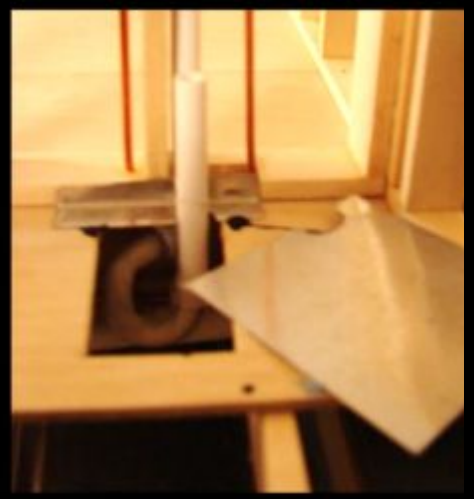




Control de las vías de entrada del radón

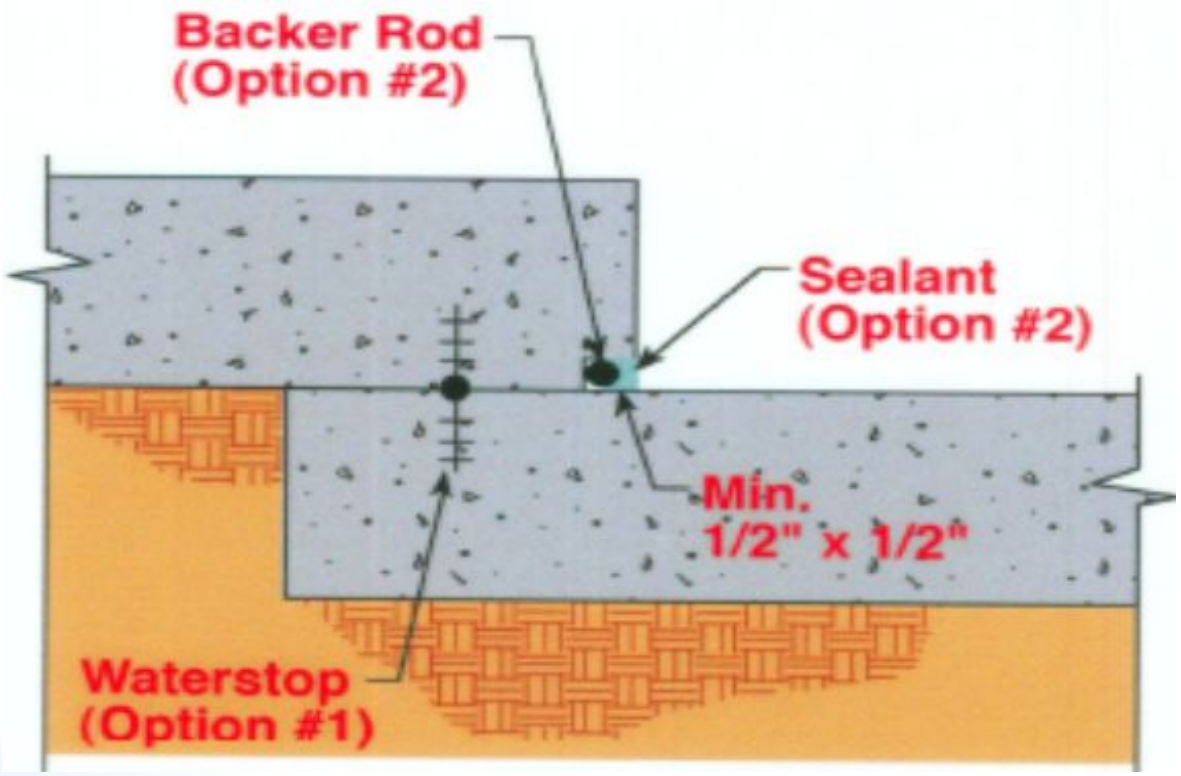
- Agujeros grandes
  - Electricidad
  - Plomeía







Control de las vías de entrada del radón



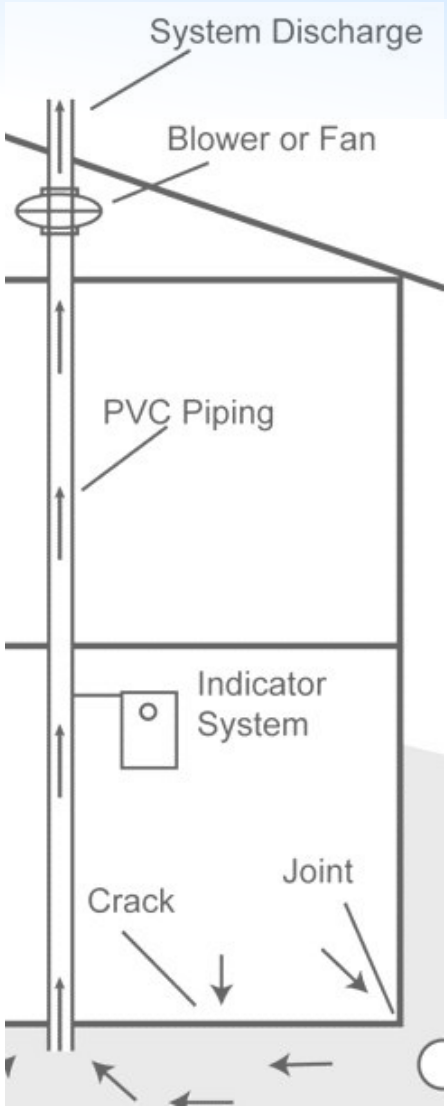
Juntas horizontales entre dos losas de diferentes elevaciones deben proporcionar un contacto horizontal entre ambas de al menos 8 pulgadas

Deben estar selladas con un sellador aprobado

Técnicas de despresurización activa del suelo

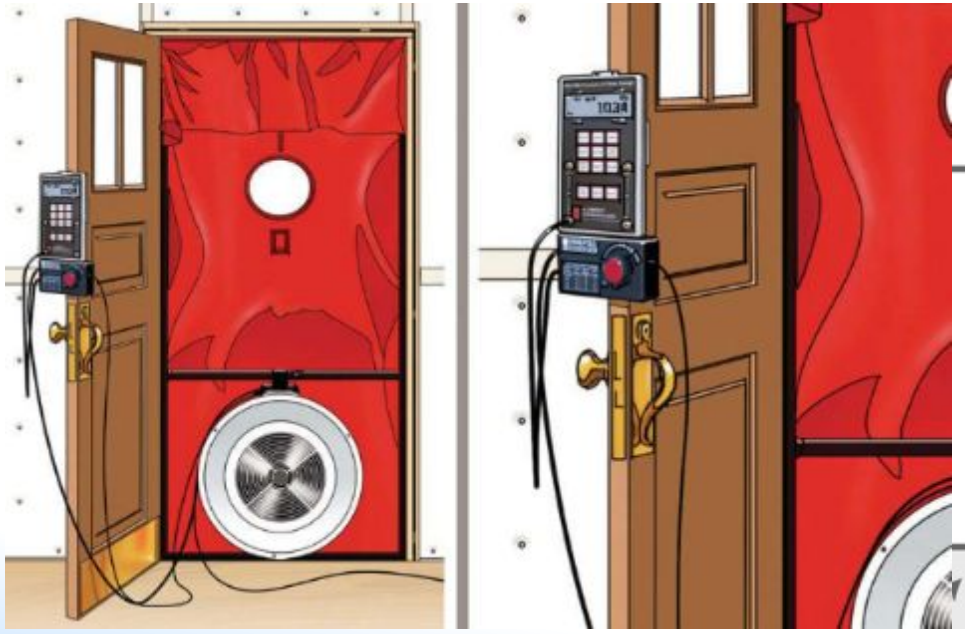
- Diseño básico:
  - Seleccionar componentes adecuados, abanicos (ventiladores), tuberías para minimizar costos de instalación y uso de energía
  - Diseño/plano puntos de succión del sistema

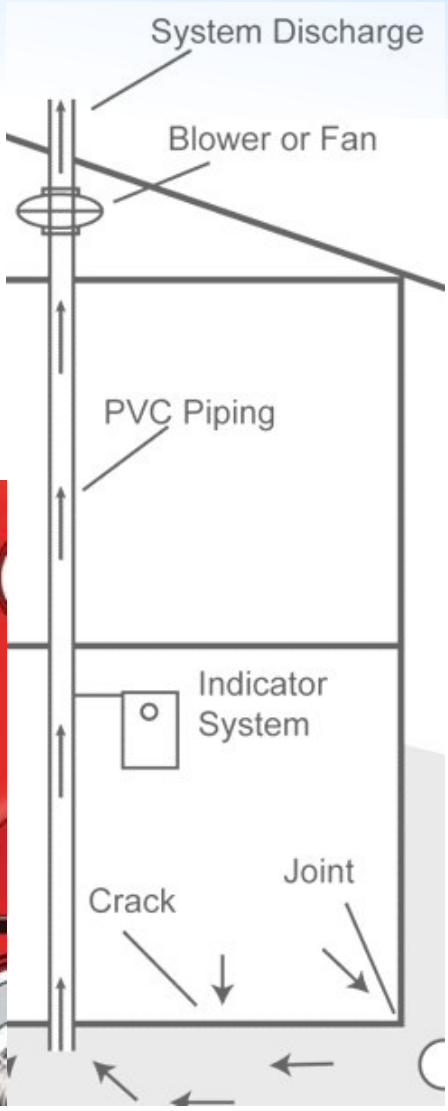




Técnicas de despresurización activa del suelo

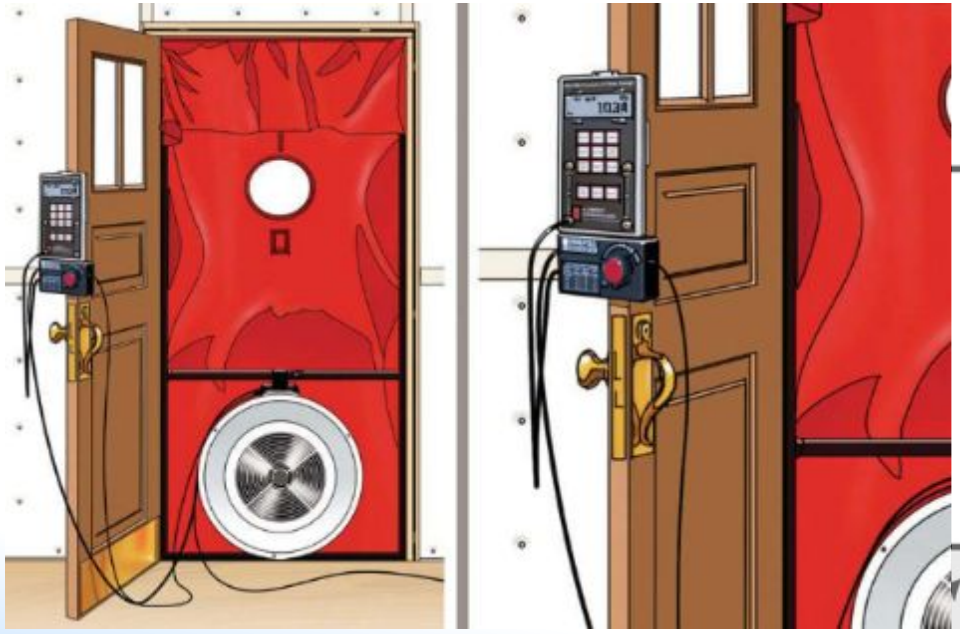
- Diseño básico:
  - Consideración de factores de seguridad involucrados en la operación del sistema – agua, fuego Evaluación del funcionamiento del sistema, midiendo el radón o **características de presión** (blower door) y **flujo** del sistema

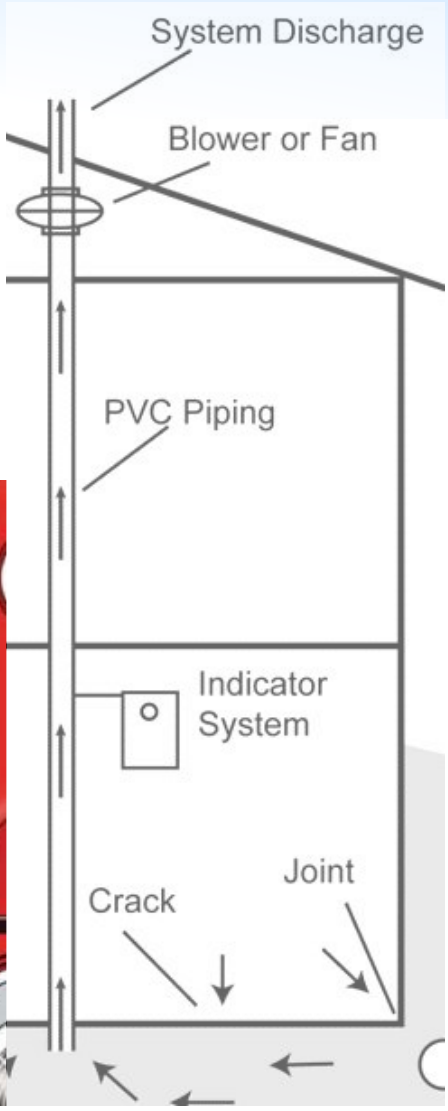




Técnicas de despresurización activa del suelo

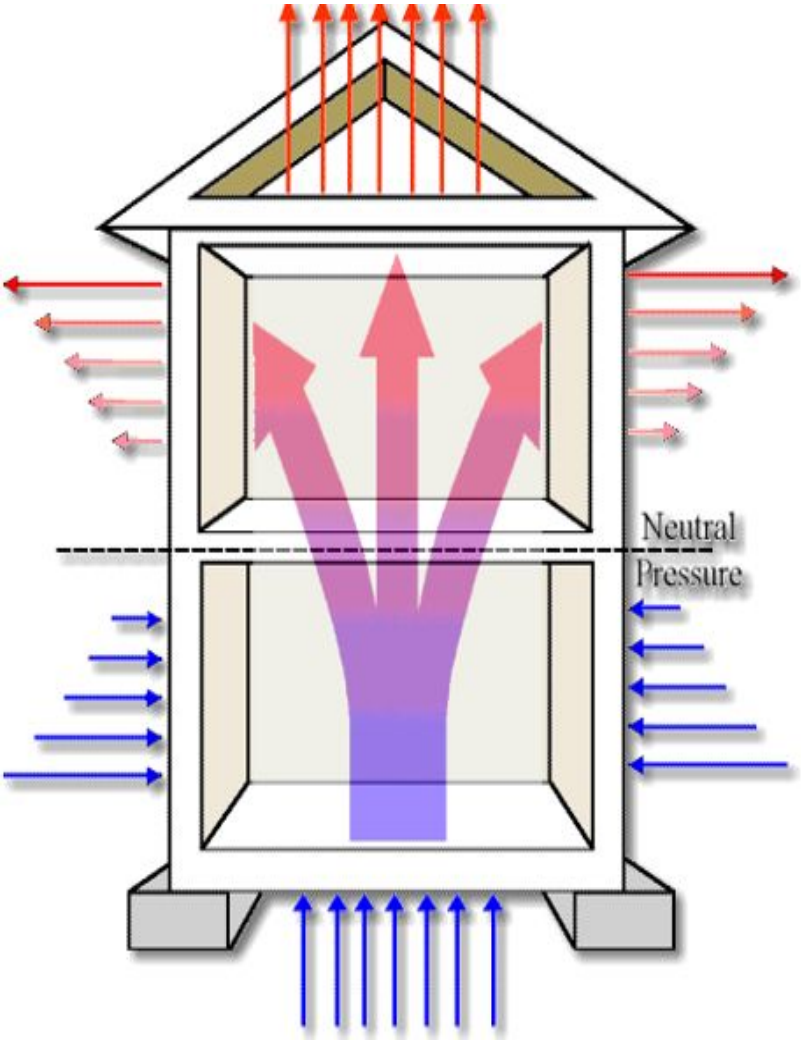
- Ensayo blower door:
  - Mide **hermeticidad** de un edificio, capacidad para evitar infiltraciones de aire no deseadas
  - Principio de la diferencia de presión
  - Mantener diferencia presión típica ~ 50 pascales (Pa)
  - Valores **> 50** indican **alto** nivel de **infiltración** y **baja hermeticidad**
  - Valores **< 50**, señalan un edificio bien sellado y **hermético** - gran eficiencia energética – > Rn



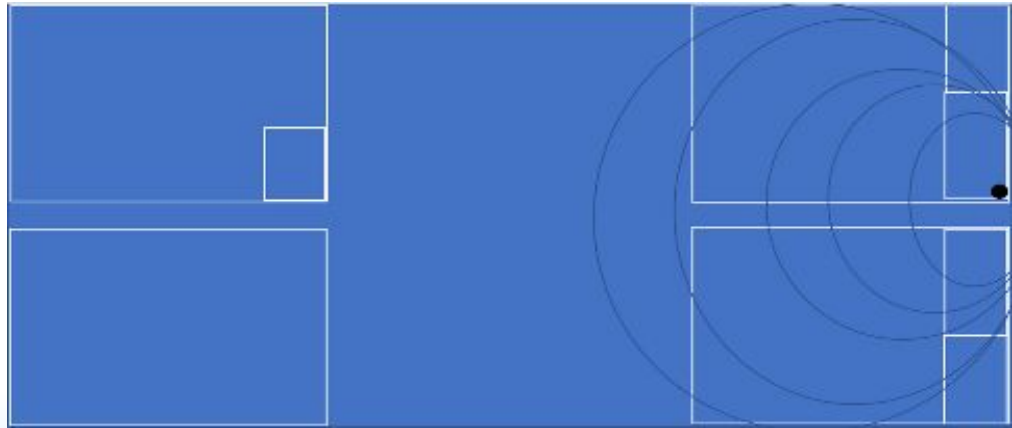


Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:

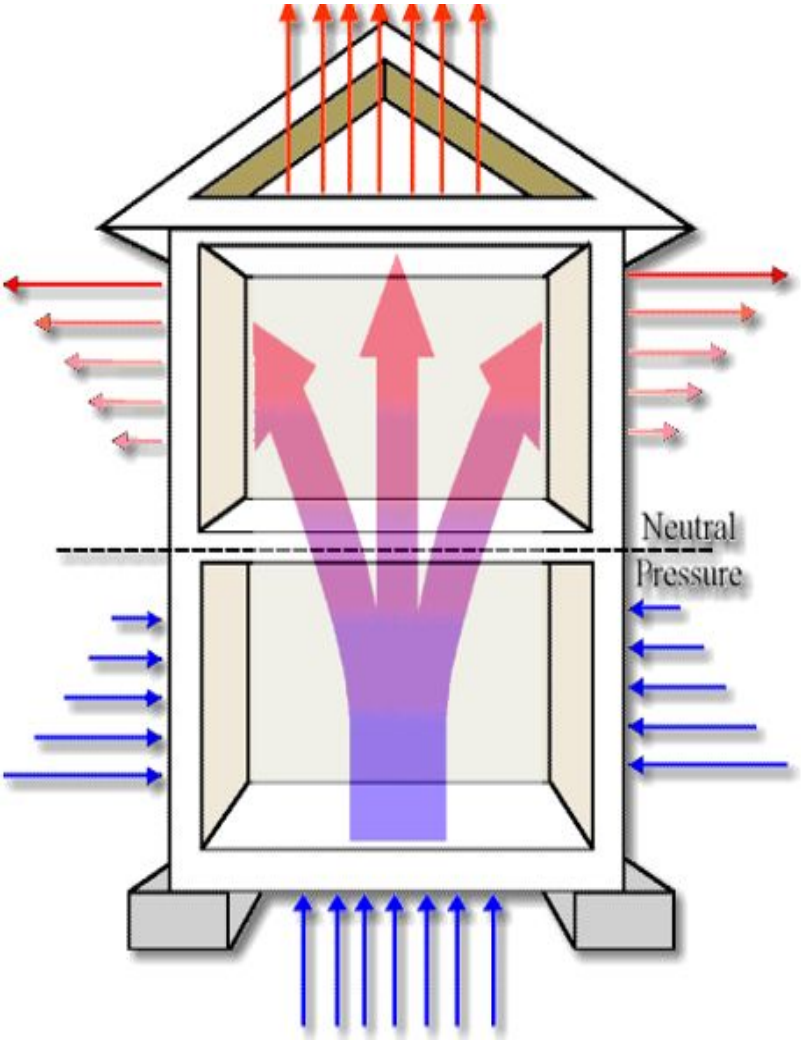


- **Presión negativa crítica** para el éxito de mitigación por despresurización del suelo
- Cantidad y ubicación de puntos de **succión** dependen de la capacidad de extender el campo de presión negativa alrededor y debajo de los cimientos (soleras, piso)

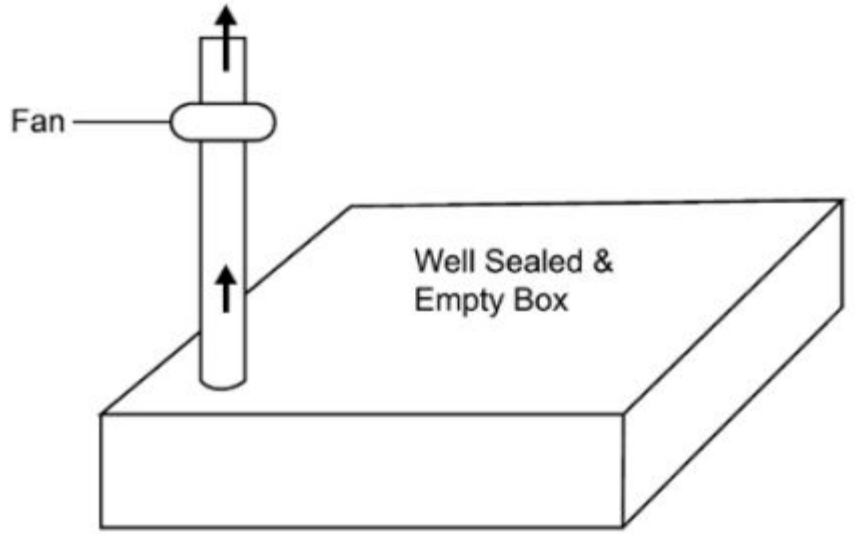


Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:

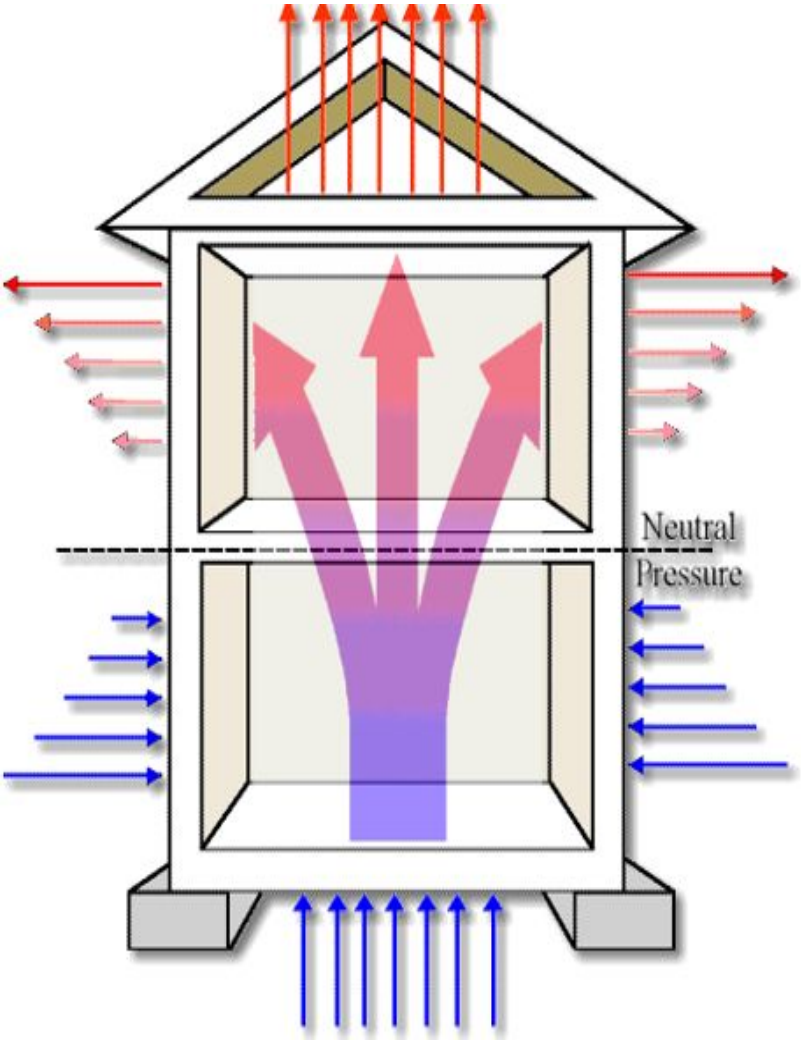


- Mejor situación para un campo de presión negativa uniforme - caja herméticamente sellada sin nada en su interior que resista el flujo de aire



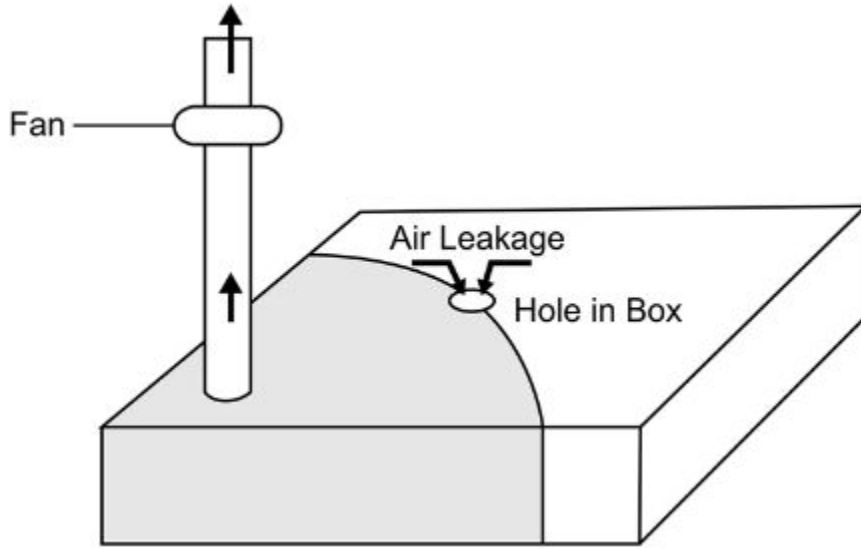
Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:



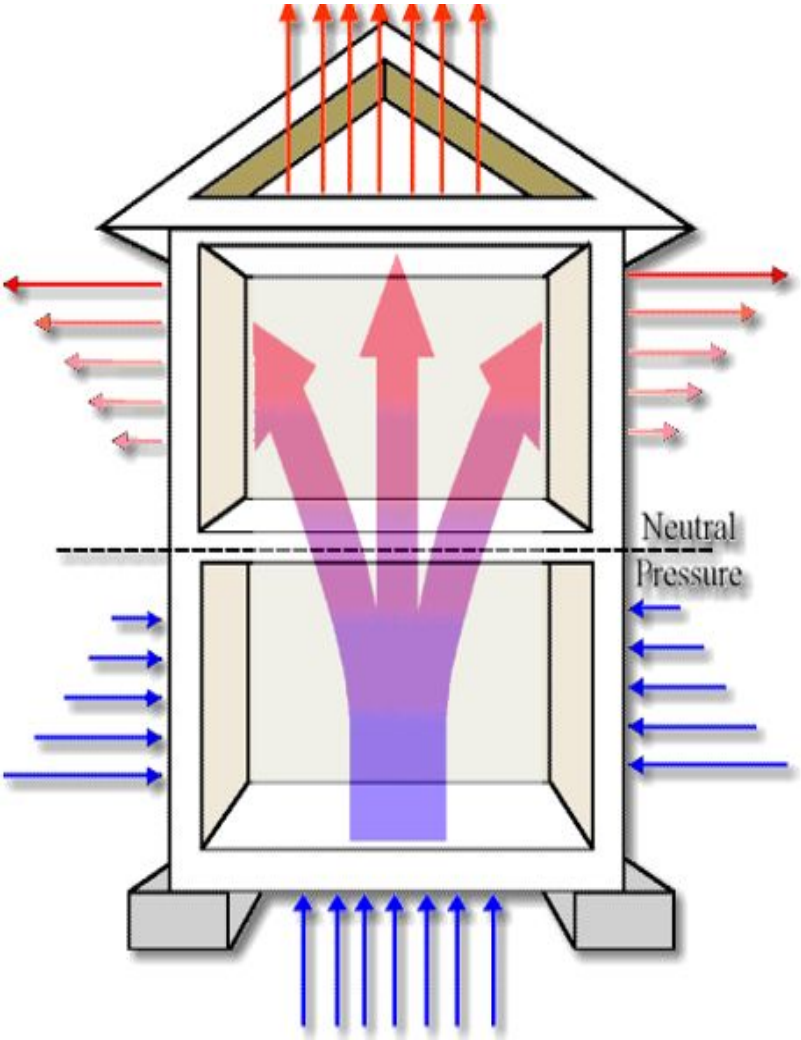
- Si se abre un orificio, la presión bajará porque se suministra más aire al abanico
- El campo de presión dejará de extenderse uniformemente (fuga)

– Si el orificio está cerca del punto de succión la extensión del campo de presión será pequeña

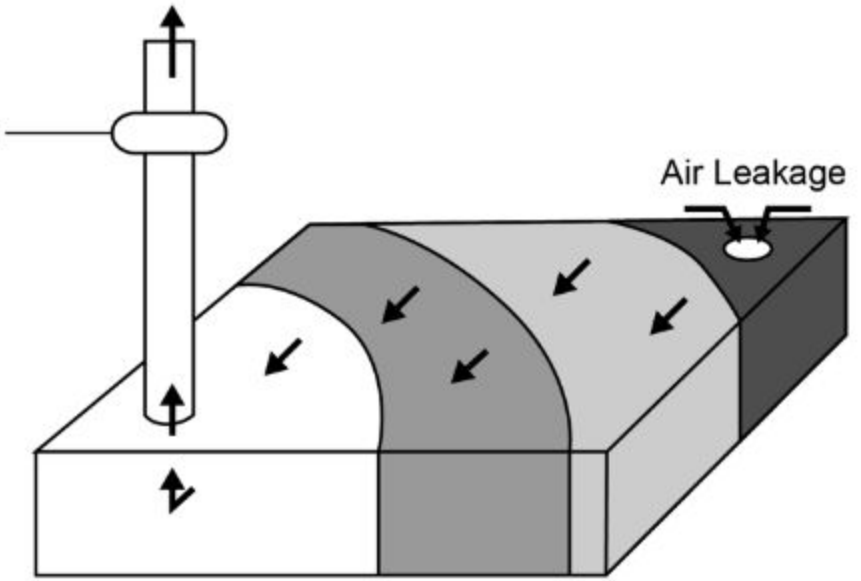


Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:

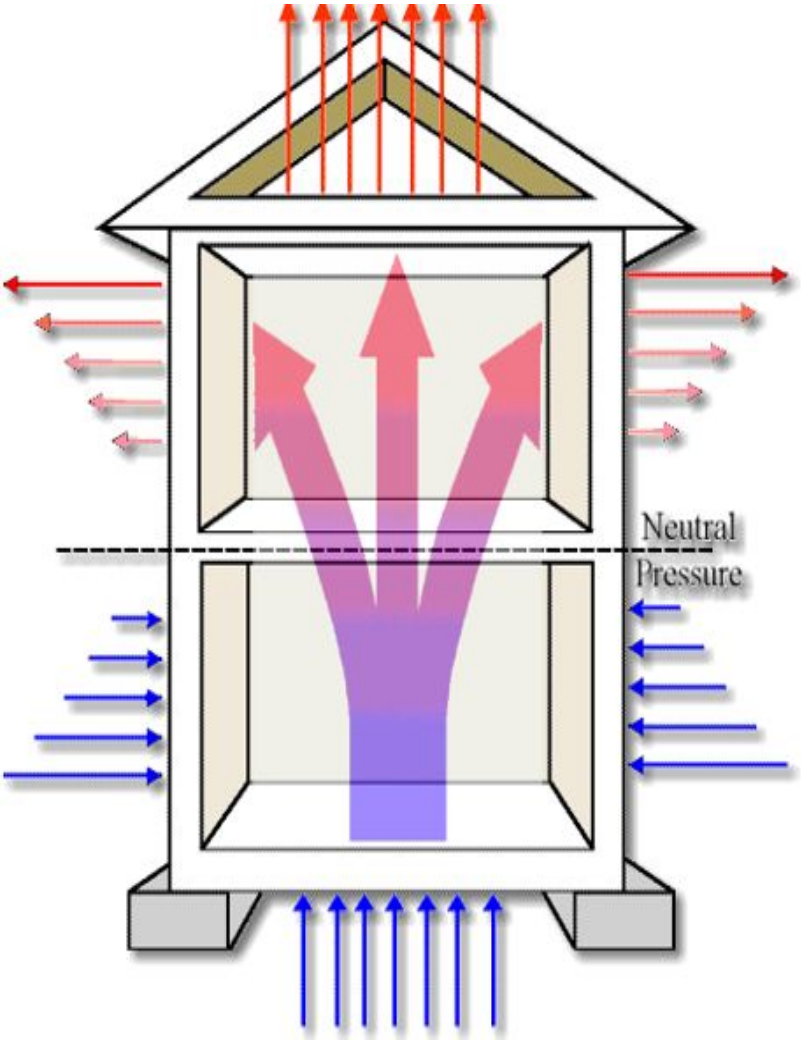


- Al perforar el extremo más alejado del punto de succión, el campo de presión dejará de ser uniforme - resistencia al flujo causada por el suelo
  - El campo de presión **negativa**/ succión será **más intenso cerca del punto** de **succión** y más débil en la esquina



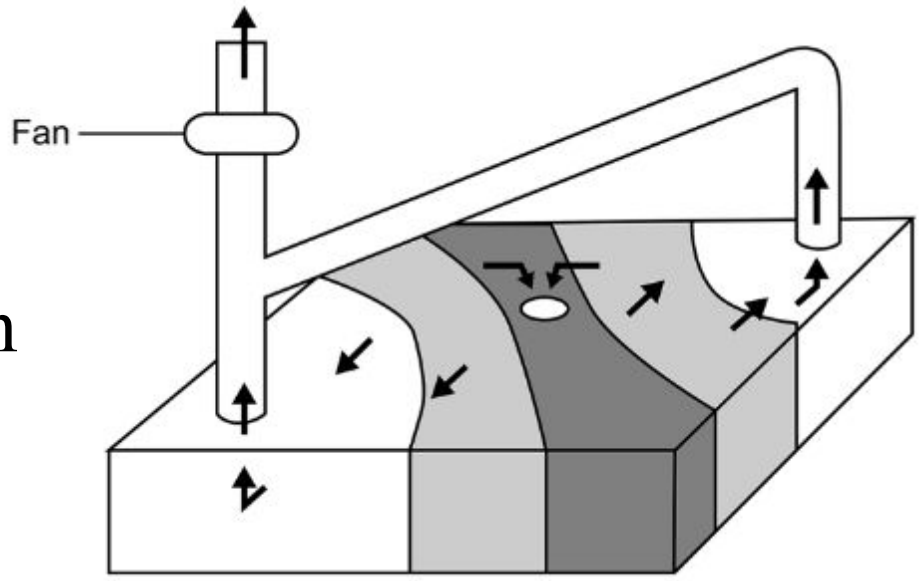
Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:



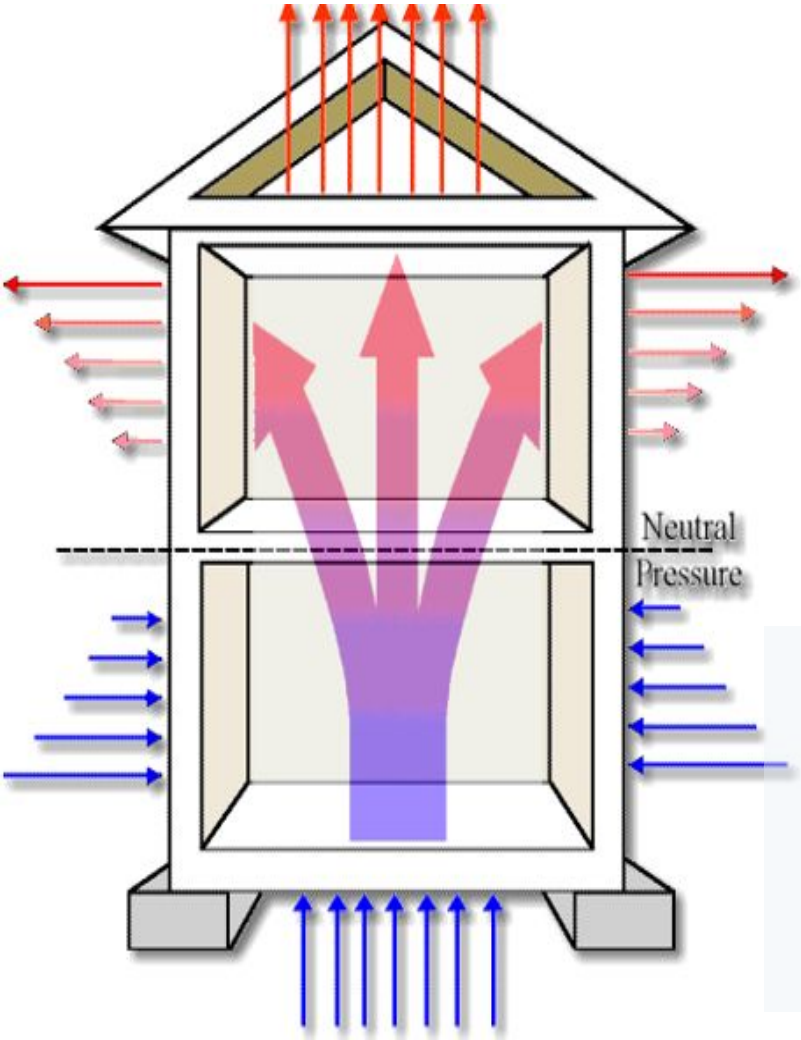
- La distribución del campo de presión puede mejorar agregando más puntos de succión
- Puede instalarse durante construcción de la casa o durante mitigación

– Mejora con una red de tubería perforada a lo largo de la arena y conectadas al punto de succión (e.g. si existe un sistema de drenaje de agua)



Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:



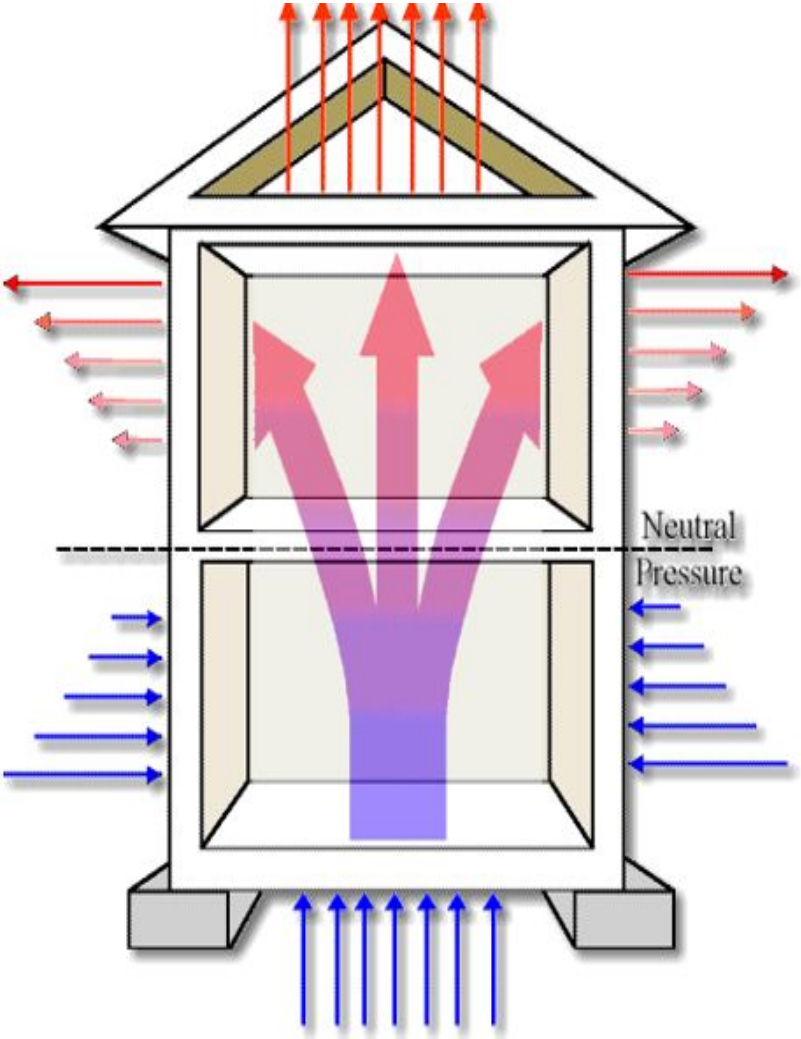
- Suelo, rocas y materiales utilizados en los sistemas de cimentación y drenaje determinan la facilidad con que se puede distribuir un campo de presión
- Suelos compactos, soleras sobre roca sólida, cimentaciones sin sistemas de drenaje y las zapatas

son **barreras** a extender un campo de presión negativa



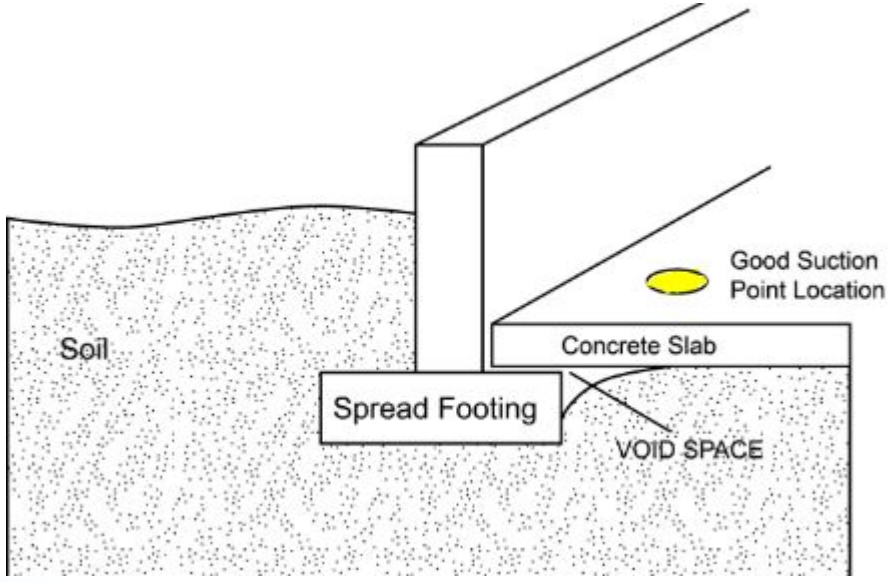
Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:



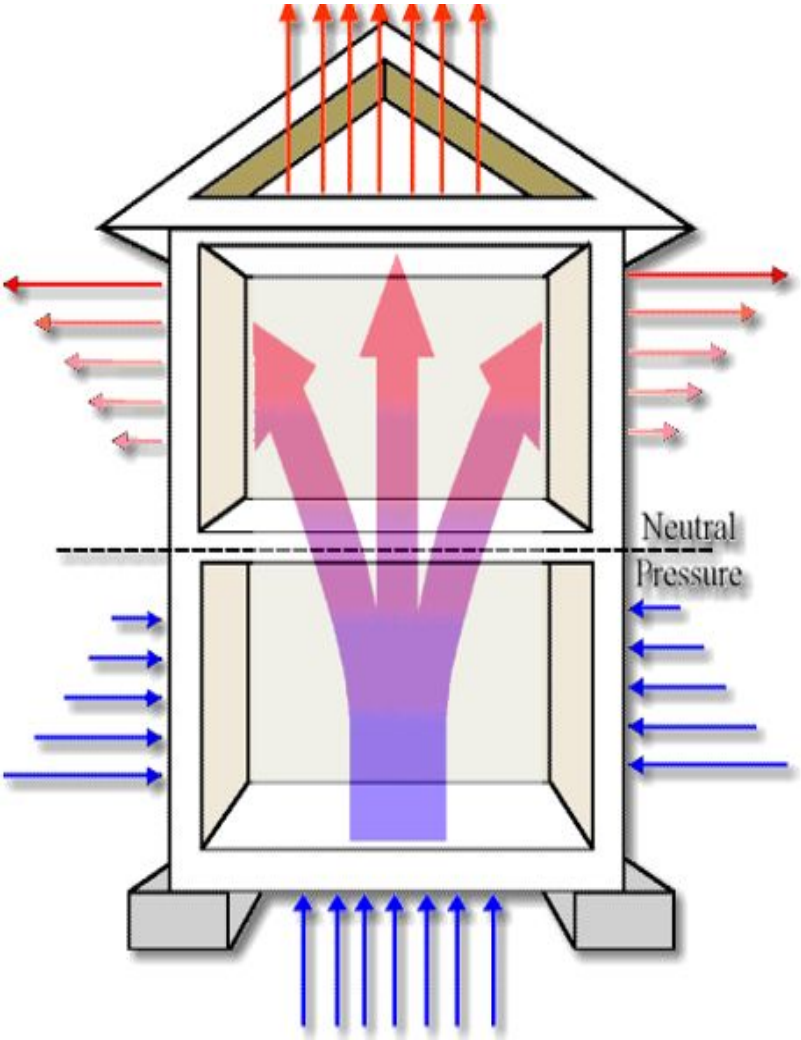
- Zapatas > **45 cm** por debajo del nivel del suelo son las mejores ubicaciones para un **punto de succión** al lado del interior del muro exterior. Donde el suelo está menos compactado

  – Succión en este vacío facilita la **extensión** del campo de **presión negativa** a todo el perímetro de la losa

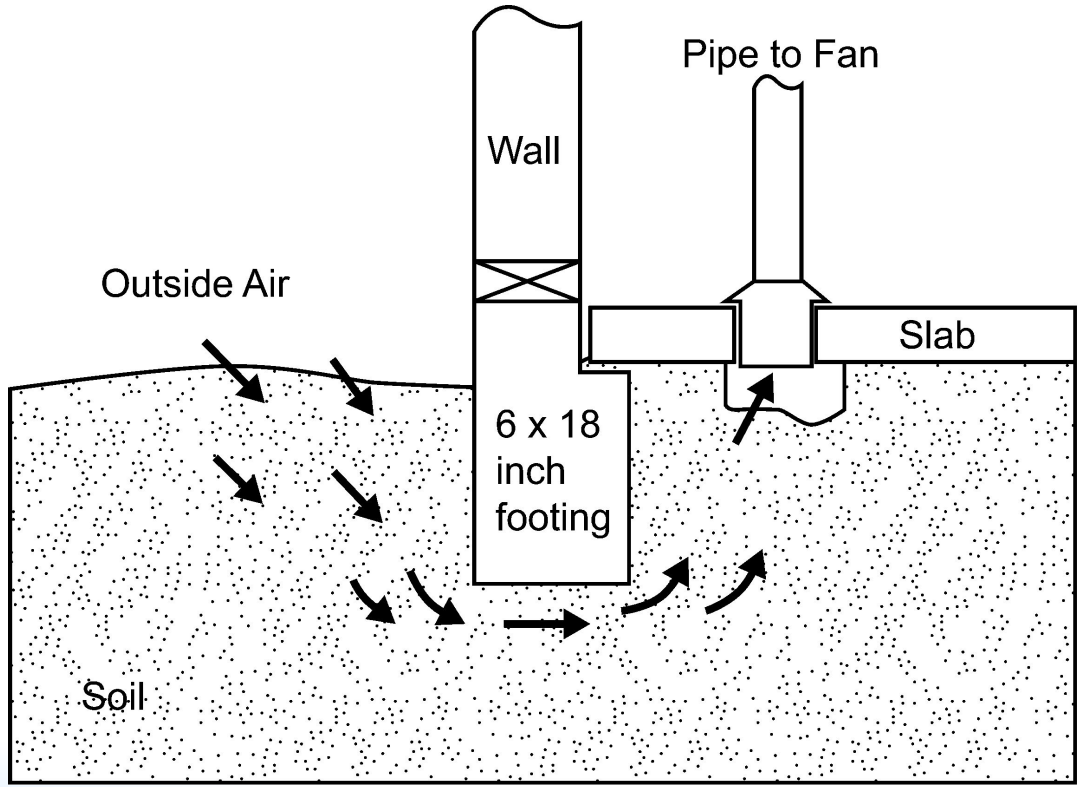


Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:

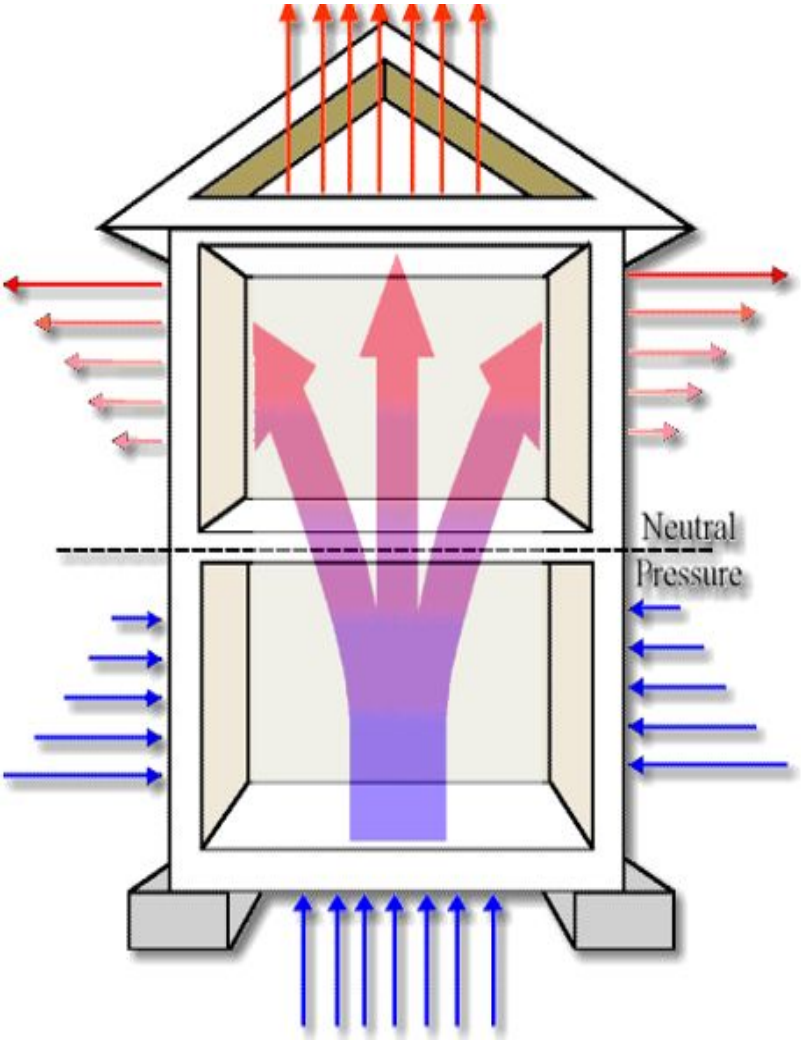


- Donde la fundación (zapata) del edificio no es tan profunda, se recomienda un punto ubicado centralmente
- Crear vacío



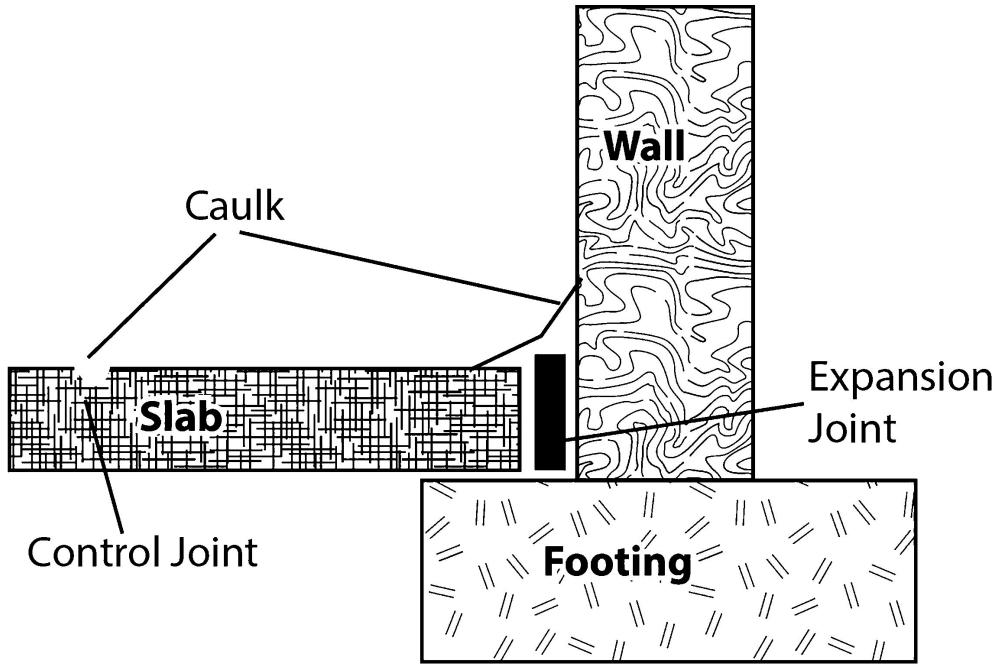
Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:



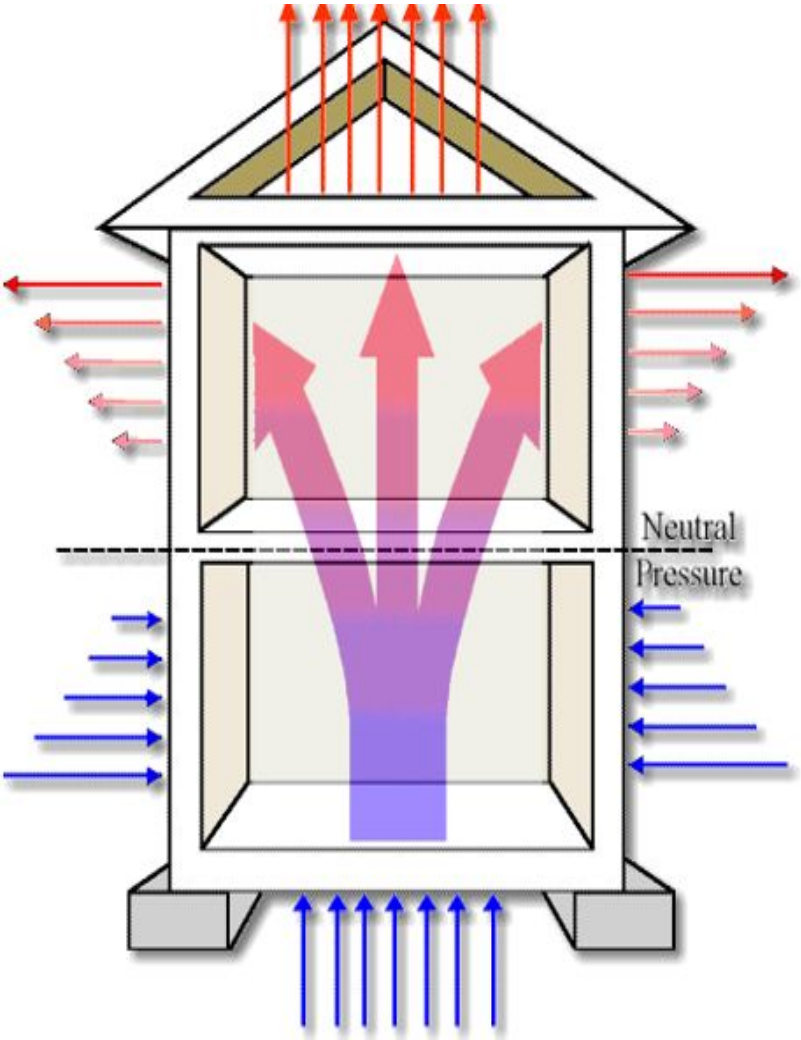
- Se recomienda utilizar sello elastomérico/ poliuretano fluido:
  - Junta de dilatación
  - Aberturas
  - Grietas



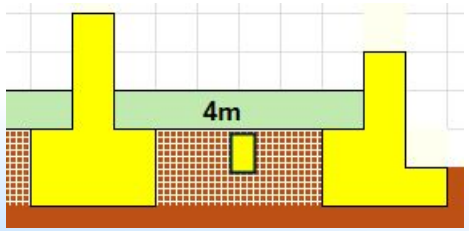


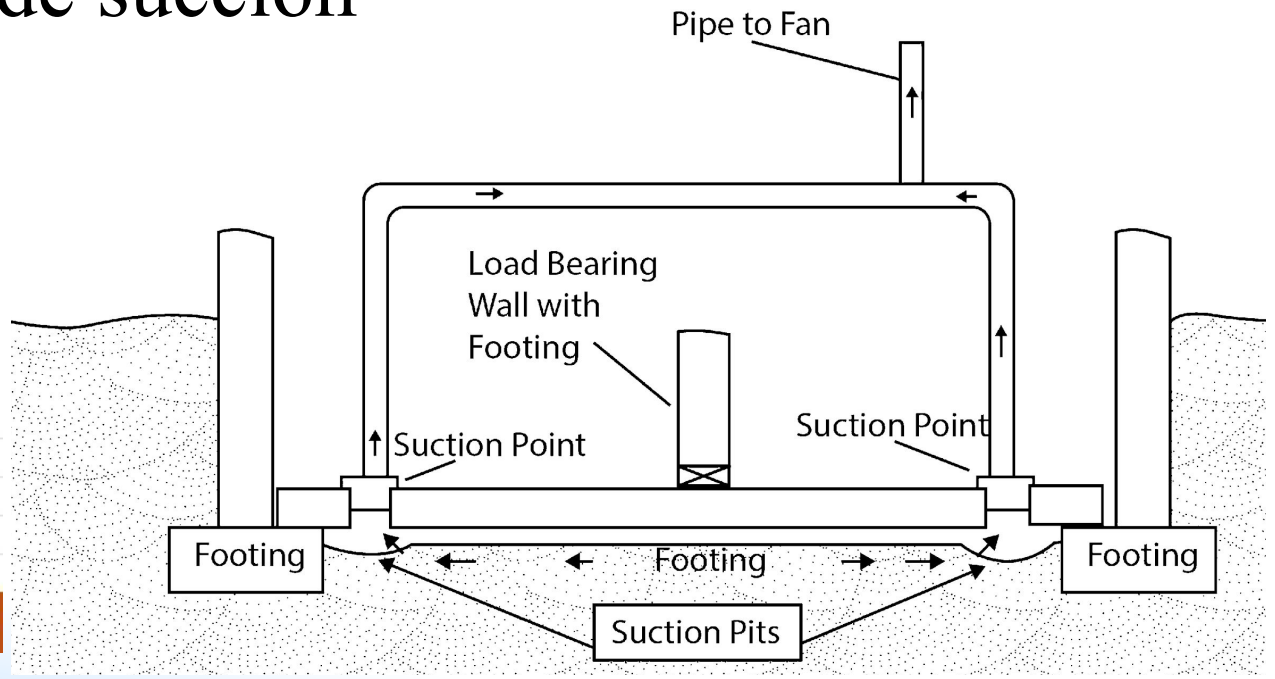
Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:



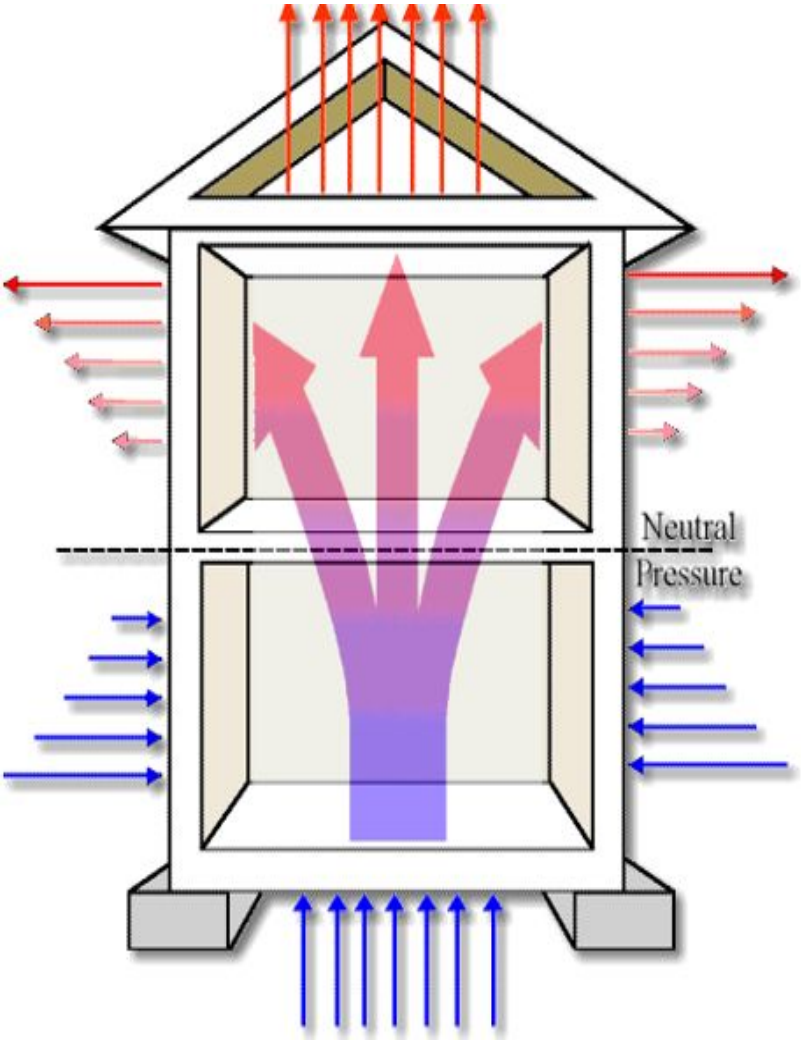
- **Zapatas** continuas y **vigas de nivelación** corren debajo de una porción de la losa (solera) alteran la presión negativa
- Dos puntos de succión



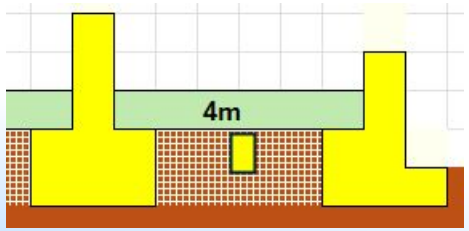


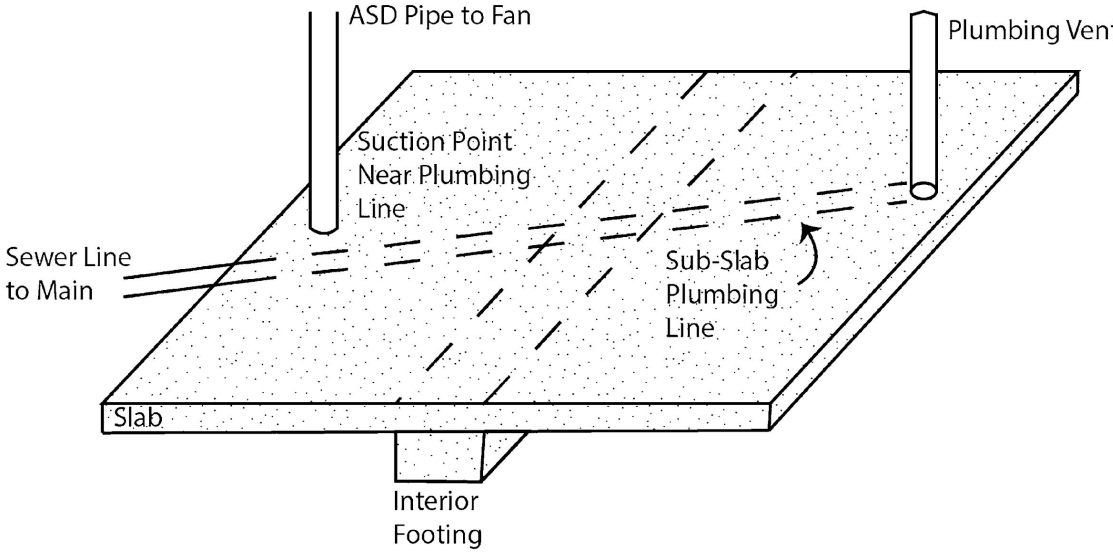
Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:



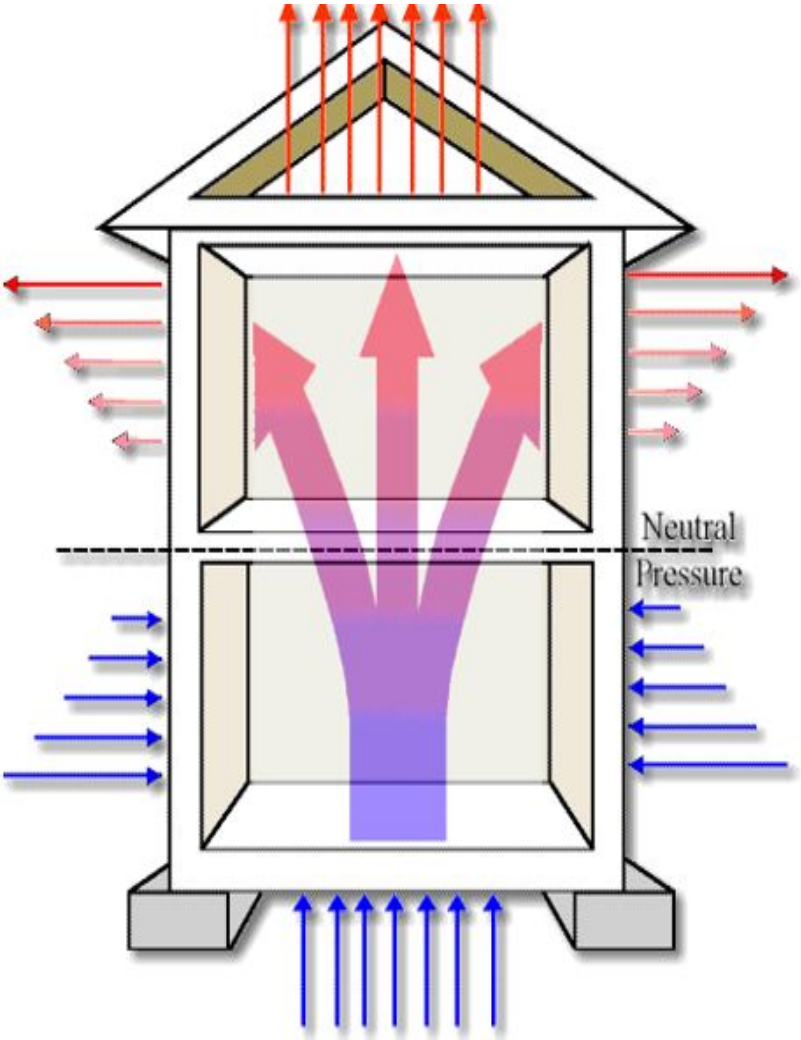
- Zapatas continuas o vigas de nivelación...
- Puntos de succión cerca de **zanjas de plomería** puede ayudar a distribuir la presión negativa



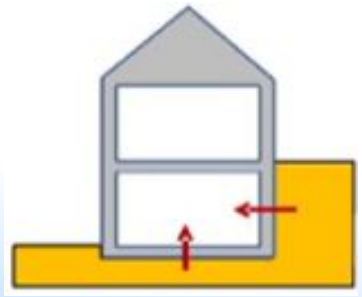


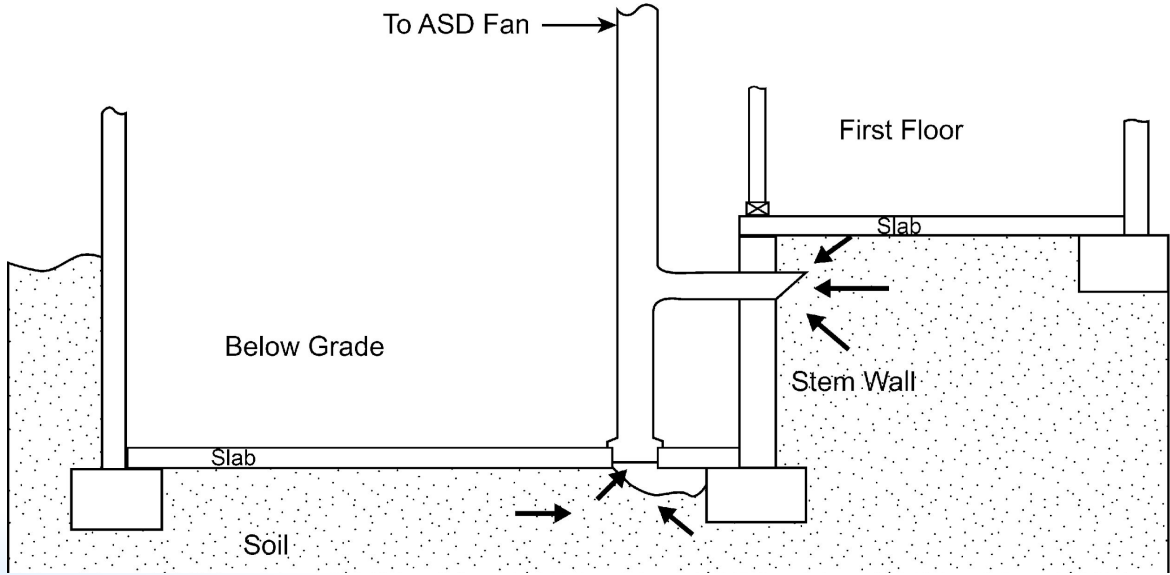
Técnicas de despresurización activa del suelo

Creando un campo de presión negativa:



- Casas de **varios niveles** pueden necesitar técnicas de despresurización debajo de losa aplicadas a ambos niveles
  - Creando succión en la pared del vástago puede eliminar la necesidad de instalar un segundo ventilador





Técnicas de despresurización activa del suelo

Ventiladores:

- **Selección adecuada** depende de la cantidad de succión que se debe aplicar a la losa y la cantidad de aire que se debe extraer para lograr despresurización
- **Características** de ventiladores y su dinámica
  - **Curvas** de ventiladores
  - **Tamaño** del ventilador
  - **Ruido** del ventilador, Vida útil del ventilador
  - **Fugas** del lado de presión positiva y ubicación del ventilador



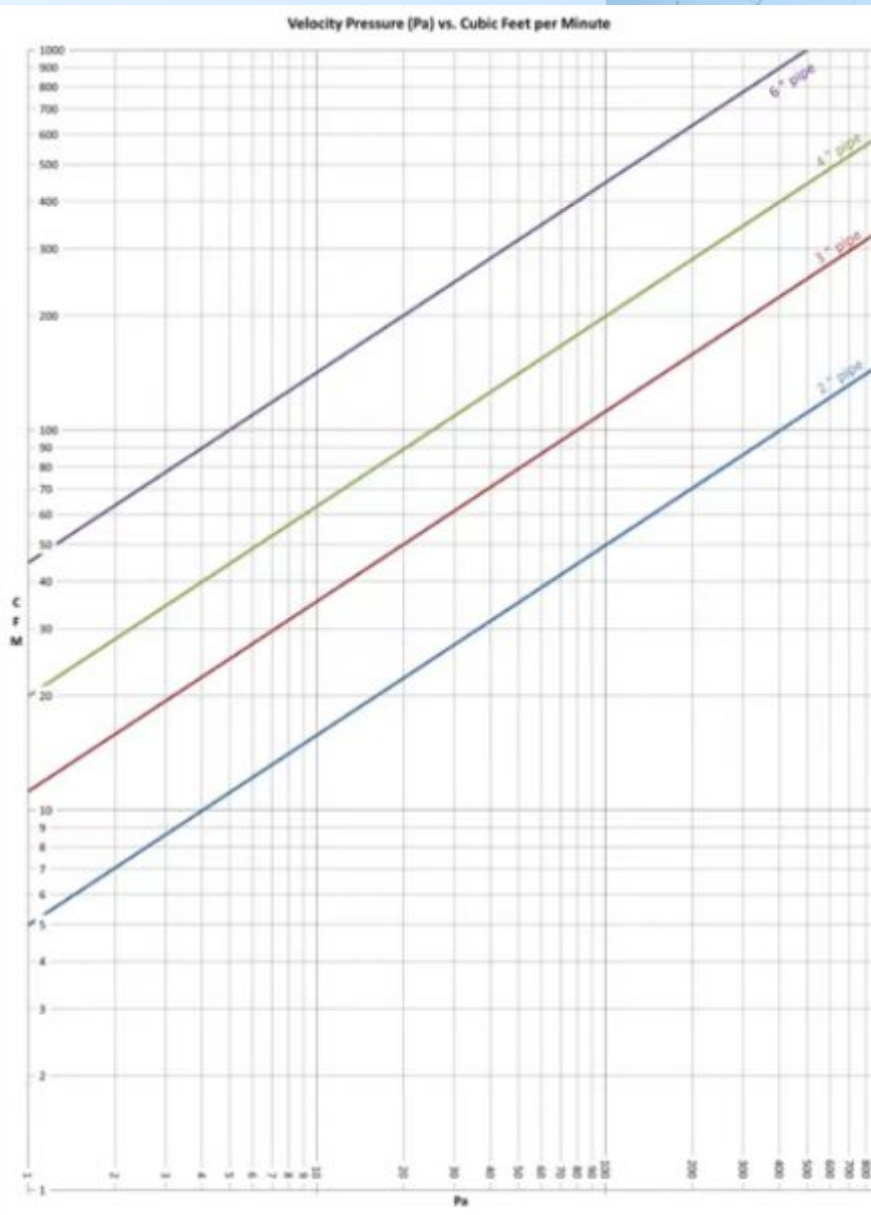
Técnicas de despresurización activa del suelo

Curvas de Ventiladores:

- Representación de la cantidad de aire que un ventilador moverá bajo varias condiciones
- Ejes representan la **presión estática**, y el **flujo de aire** volumétrico, pies cúbicos de aire por minuto (CFM)





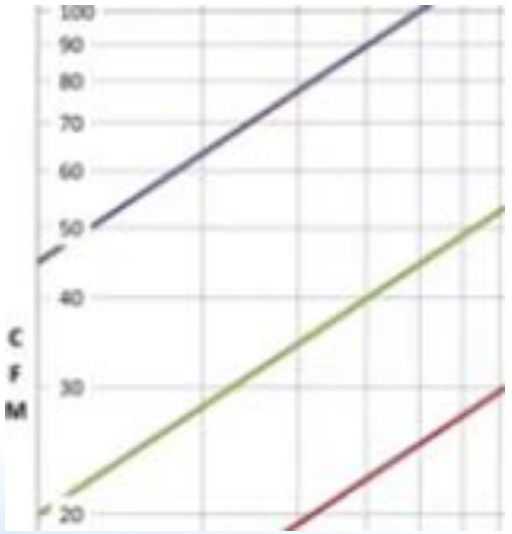


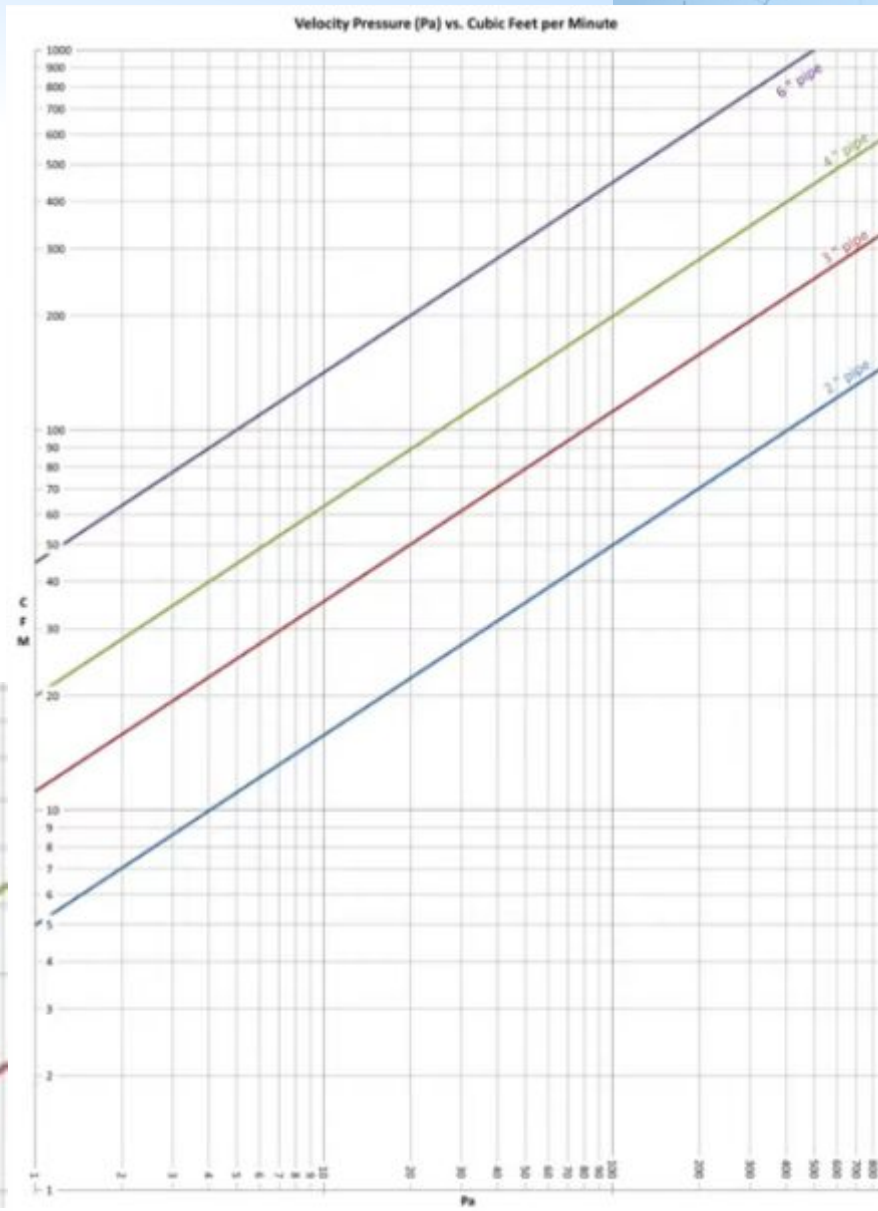
Técnicas de despresurización activa del suelo

Curvas de Ventiladores:

- Un punto en la curva se utiliza para leer el vacío desarrollado por el ventilador con un flujo de aire determinado
- Generalmente necesitamos saber cuánto aire es necesario mover para obtener **1 pascal** de presión negativa





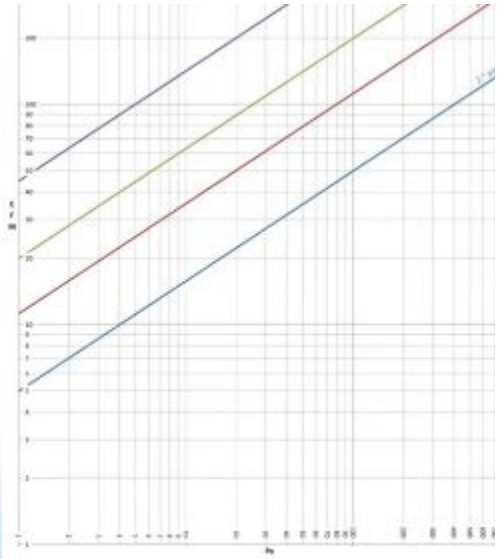


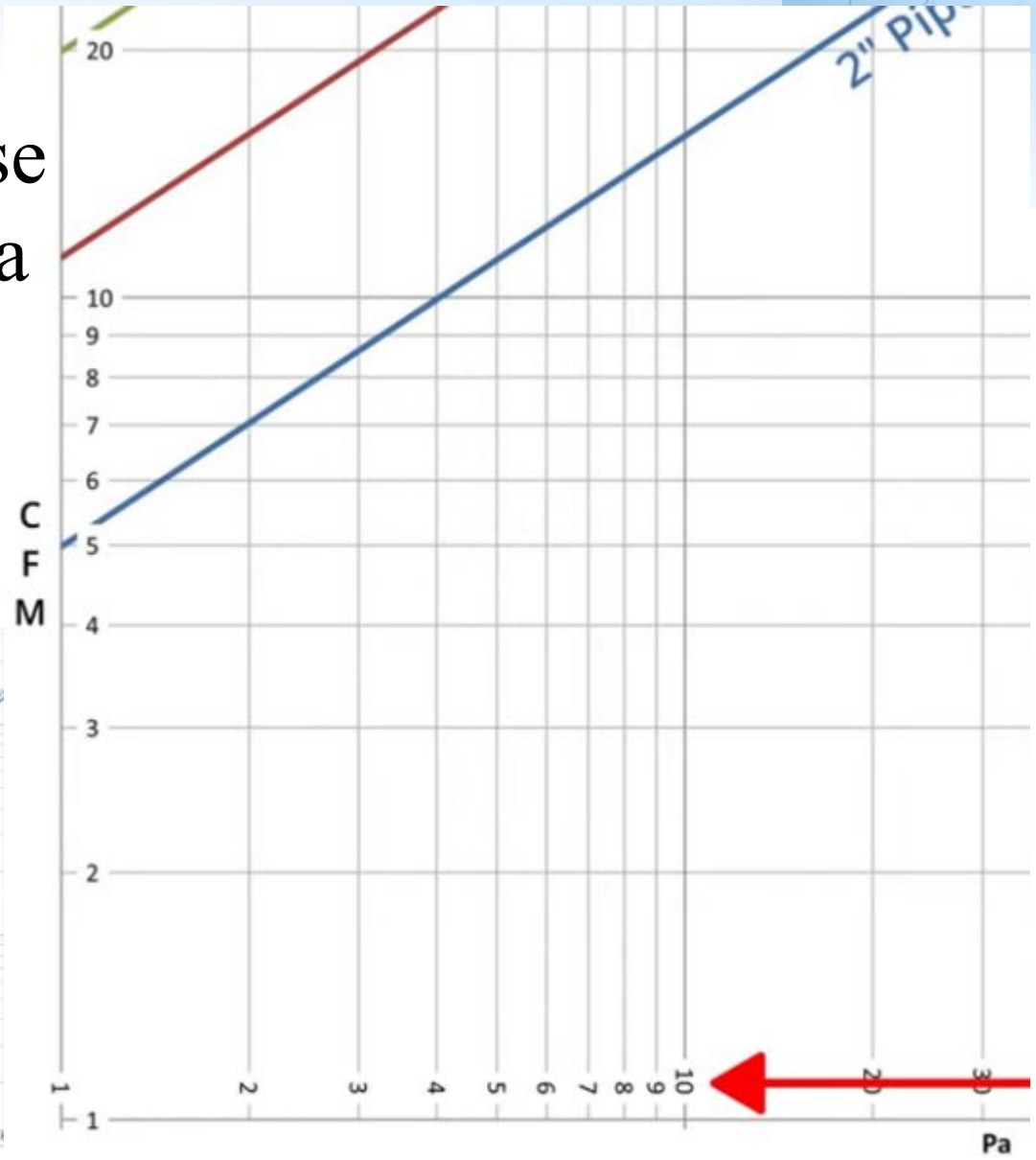
Técnicas de despresurización activa del suelo

Curvas de Ventiladores:

- Para determinar cuánto aire debe moverse para obtener pascales de presión negativa se mide la velocidad Por ejemplo, si medimos una presión de 10 Pa, consultamos la tabla





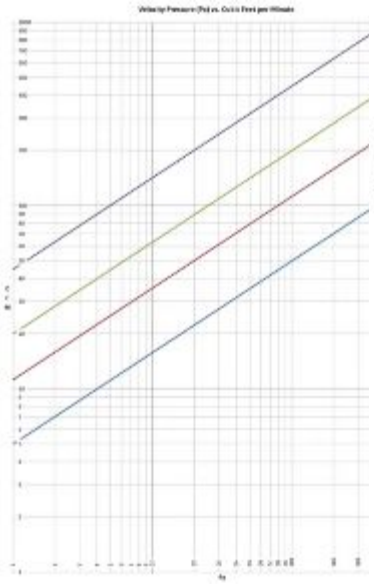


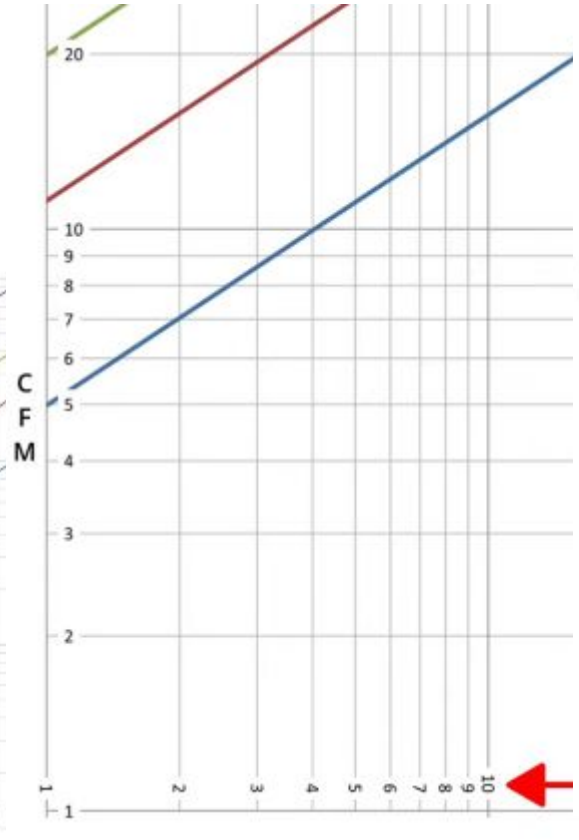
Técnicas de despresurización activa del suelo

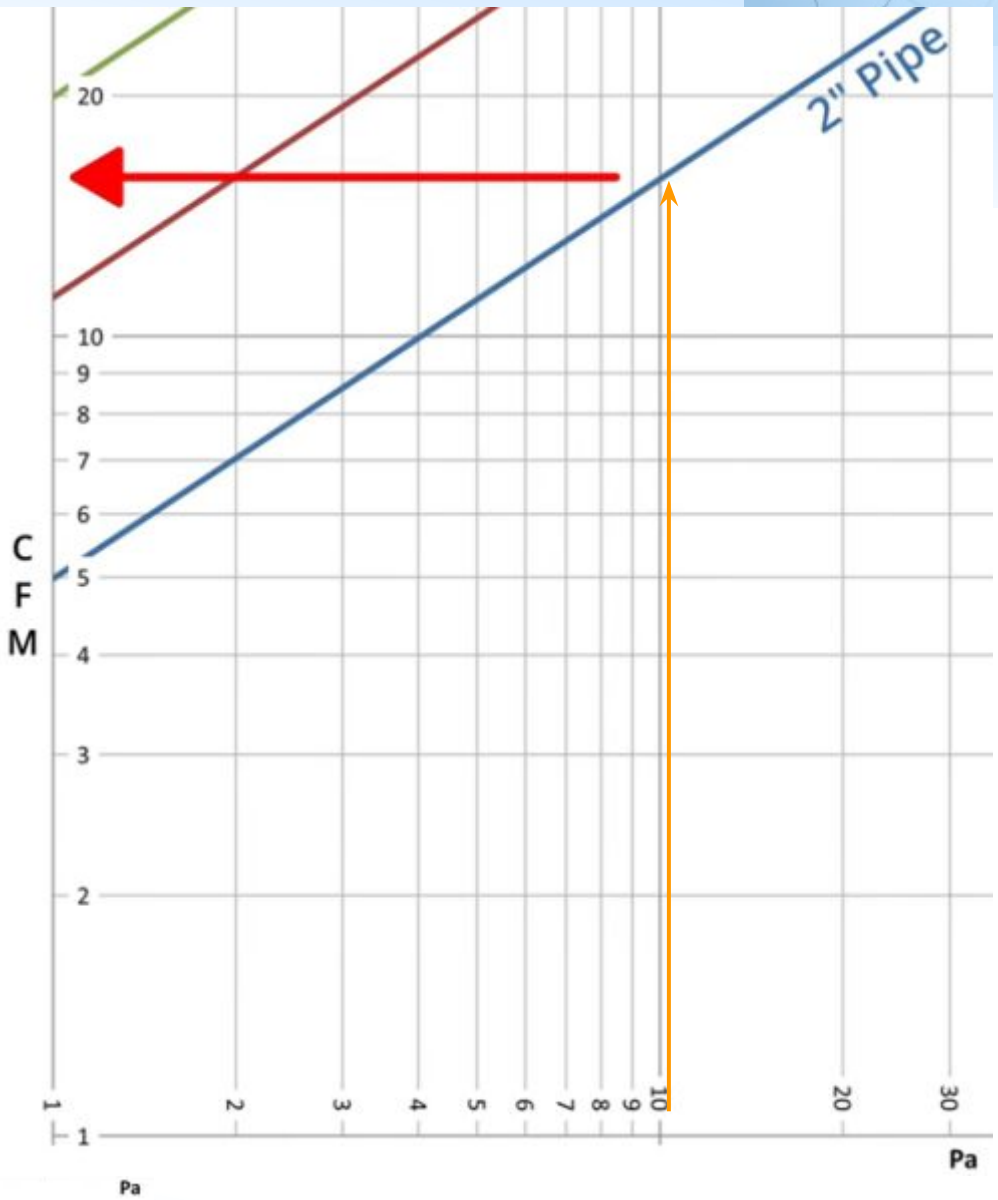
Curvas de Ventiladores:

- Ejemplo, velocidad de 10 Pa necesita un abanico que mueva 17 pies cúbicos de aire por minuto (CFM)







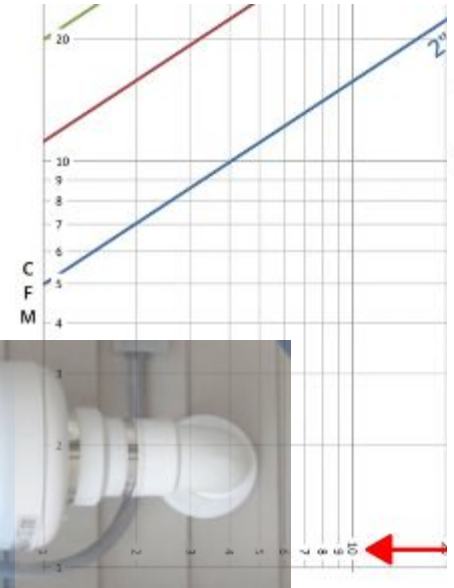


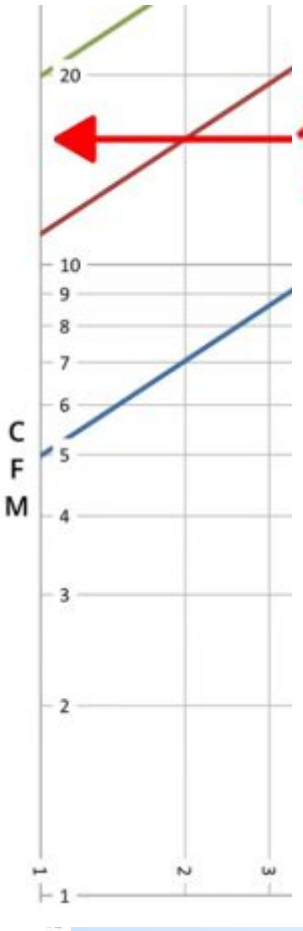
Técnicas de despresurización activa del suelo

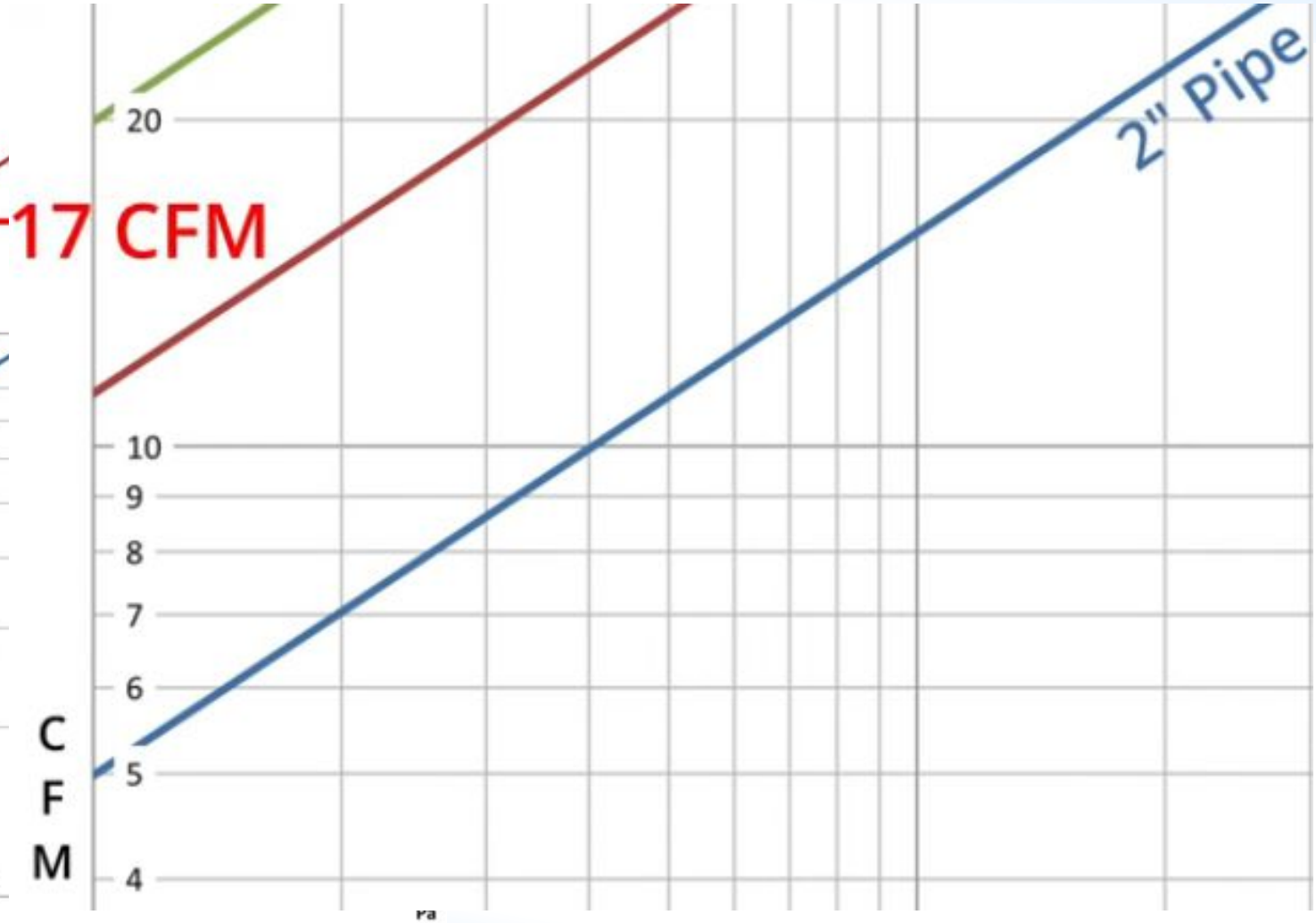
Curvas de Ventiladores:

- Ejemplo, velocidad de 10 Pa – necesita abanico de 17 CFM con tubos de 2”









Técnicas de despresurización activa del suelo

Curvas de Ventiladores:

- Menos de 35 CFM, utilice una tubería de 2”, o quizás de 3” si tiene muchos accesorios de tubería y dobles
- Para 40-60 CFM, use un tubo de 3"
- Para 70 CFM, use uno de 4", ya que puede mover más aire
- >Abanico CFM (f^3 de aire /min)

  > Tamaño Tubo







Técnicas de despresurización activa del suelo

Curvas de Ventiladores:

- En tuberías, fricción accesorios(codos, válvulas) generan resistencia que reduce la presión del aire
- Pérdida es proporcional a la complejidad del sistema de tuberías







- Reducen el ruido por vibración



Técnicas de despresurización activa del suelo

Curvas de Ventiladores:

- Tuberías corrugadas crean resistencia al flujo de aire y pérdida de presión
  - Cuanto mayor sea la resistencia al flujo, menos aire podrá pasar por el tubo
  - Cuando el **flujo** de aire **disminuye**, **aumenta** la **succión**
  - Cuando el aire disponible **aumenta** (suelos sueltos, agregados grandes debajo de solera) el flujo de aire del ventilador sube, y la presión de **succión disminuye**





Técnicas de despresurización activa del suelo

Tamaño del ventilador:

- Ventiladores pueden tener capacidad volumétrica baja o alta
- Selección del ventilador adecuado depende de la estimación de las presiones y flujos de aire necesarios para que el control del radón sea exitoso





Técnicas de despresurización activa del suelo

Tamaño del ventilador:

- Suelos compactos o porosos pueden afectar el funcionamiento del ventilador
- Dos edificios de idéntico diseño y tamaño, una sobre suelo compacto y otra sobre suelo poroso tendrán diferentes resultados de mitigación







Técnicas de despresurización activa del suelo

Tamaño del ventilador:

- ¿Que hacemos para desarrollar campos de presión negativa idénticos bajo ambas casas?
  - el ventilador sobre la solera de **suelo compacto** (sin mucho aire) no requiere gran capacidad volumétrica, pero debido a la mayor resistencia del suelo, requiere **alta** capacidad de **succión**
  - el ventilador que alimenta el **suelo suelto** (menor resistencia al flujo) necesita abanicos de **alto flujo volumétrico** y **baja succión**

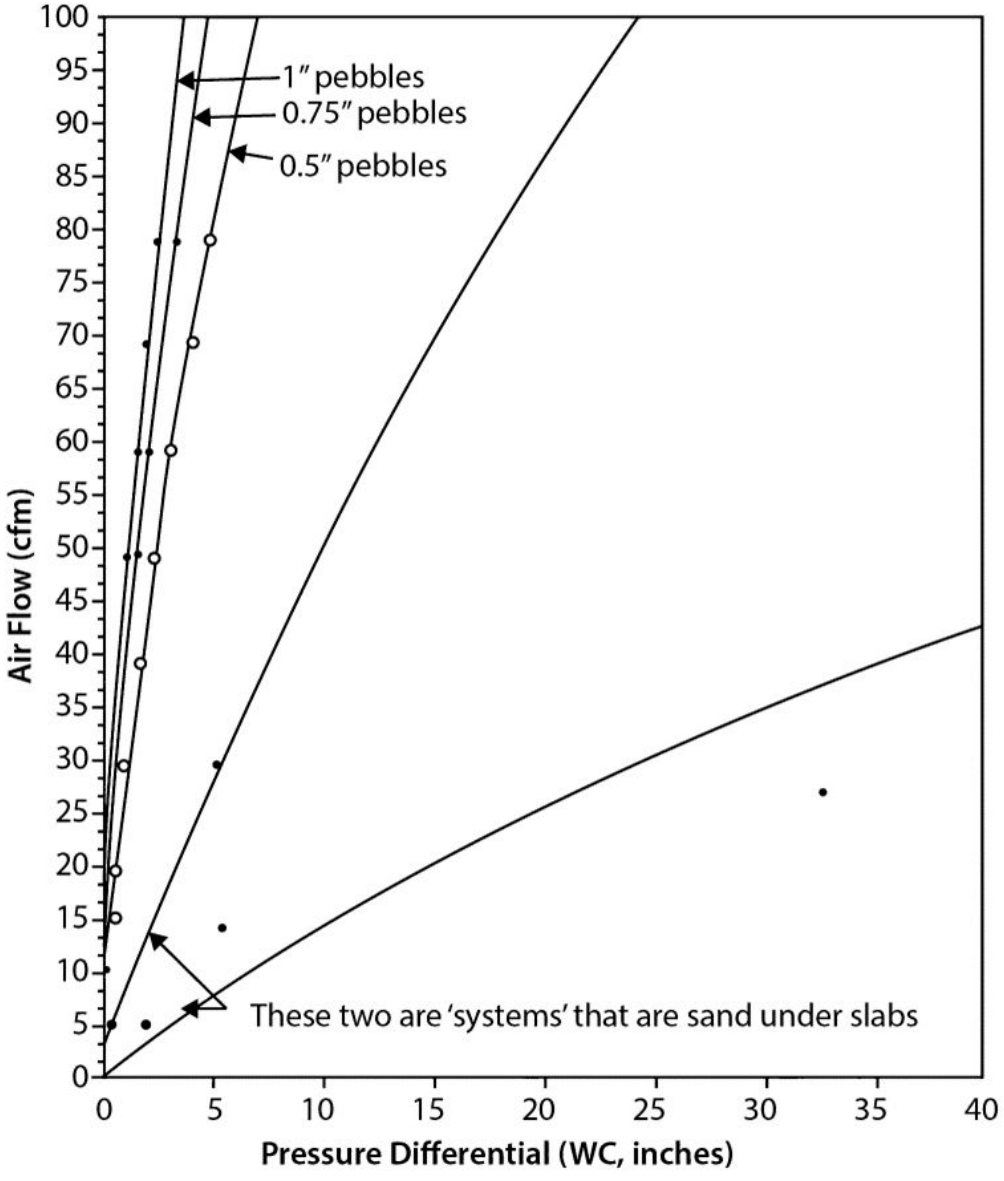






Técnicas de despresurización activa del suelo

Tamaño del ventilador:



- Esencial seleccionar ventilador adecuado a las condiciones donde esta
- Diferentes capacidades de ventiladores son necesarios para diferentes tipos de agregados debajo de la losa
- > tamaño de grava < diferencial de presión necesario



Técnicas de despresurización activa del suelo

Tamaño del ventilador:

- Asegurar que el **ventilador** tenga **suficiente capacidad** para superar presiones negativas (varían en ciertas épocas)
  - Condiciones del **suelo pueden cambiar** y permitir la entrada de más o menos aire exterior (resecado, descongelado o fracturado)
  - Habitualmente se escogen **ventiladores** que generalmente funcionen en el **rango medio** de su **curva de rendimiento**, permitiendo reserva de capacidad de succión



Técnicas de despresurización activa del suelo

Tamaño del ventilador:

- Otras consideraciones:
  - Ruido
  - Promedio de Vida
  - Mantenimiento
  - Facilidad de instalación/sustitución
  - Disponibilidad del ventiladores y piezas
  - Fugas de presión positiva
  - Impacto de otros gases
  - Resistencia a la humedad
  - Clasificación eléctrica – voltaje que necesita





Técnicas de despresurización activa del suelo

Tamaño del ventilador:

- Ruido y durabilidad:
  - **Principal queja** de propietarios sobre el **ruido**
  - Acoplamientos de neopreno o **caucho** para conectar el ventilador a la tubería, son excelentes para **aislar** la **vibración** del ventilador
  - Ventiladores de mayor succión funcionan a velocidades más altas, lo que puede requerir silenciadores o **amortiguadores** de ruido
  - Durabilidad >15 años (30?)









Técnicas de despresurización activa del suelo

Tamaño del ventilador:

- Fugas:
  - Fugas del ventilador o el sistema de tuberías pueden contaminar el aire interior (radón, metano, u otros gases si la construcción es sobre antiguo vertedero / basureros rellenos)
  - Evite instalar ventiladores dentro del edificio o debajo de la solera/piso –

¿POR QUE?

- Afuera
- Ático
- Cochera/Garage





Técnicas de despresurización activa del suelo

Tamaño del ventilador:

- Resistencia a humedad:
  - Vapor de agua en el aire del suelo depende de la humedad del este, goteras de plomería, la altura del **nivel freático** (mesa de agua), y fuentes de agua cercanas



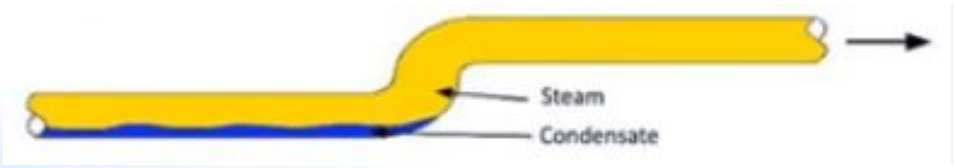
  - Tuberías pueden pasar a través de espacio con aire acondicionado, al aire libre, o a través de un espacio con calefacción - **condensación**



Técnicas de despresurización activa del suelo

Tamaño del ventilador:

- Resistencia a humedad:
  - La tubería podría enfriarse bajo el punto de rocío, y la humedad se condensará en el interior de la tubería
    - Las gotas pueden bajar por el interior de la tubería y acumularse en puntos bajos - **condensación**
    - Ventiladores deben ser resistentes a la humedad
    - Los **ventiladores** deben montarse **verticalmente** para que el condensado no se acumule en el motor del ventilador
    - Las **tuberías** deben estar en **ángulo** para drenar el agua





Técnicas de despresurización activa del suelo

Dimensión y ruta de la tubería:



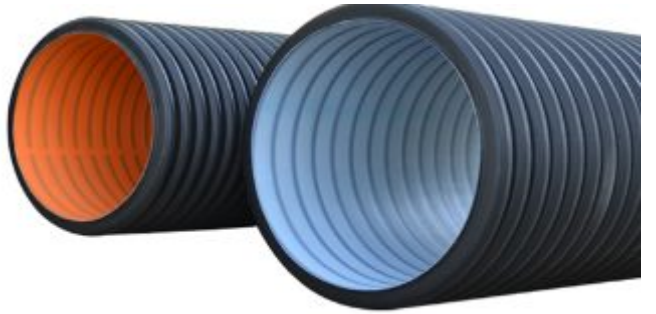
- Determinar la **cantidad de aire** que necesita mover
- **Resistencia** al flujo de aire presentada por la tubería puede reducir la eficacia del sistema
- Regla general - tubería de 4 pulgadas (**10.16 cm**) aplica ~ **tres veces** la fuerza de **succión** al área debajo de la solera que una tubería de 3 pulgadas (**7.62 cm**) con el **mismo** tamaño de **ventilador**

Técnicas de despresurización activa del suelo

Dimensión y ruta de la tubería:



- Tuberías en sistemas residenciales suelen tener 4 pulgadas (**10 cm**) de **diámetro**
- Tuberías de estilo **corrugado** pueden presentar hasta **75%** más de **resistencia** al flujo de aire
- Tuberías casi siempre son de PVC
  - Limpie y selle las juntas de tubos con cemento de PVC
  - Utiliza tuberías con clasificación para servicio de 125 psi (ASTM D-1785, D-2665 o F-891-90)



Técnicas de despresurización activa del suelo

Dimensión y ruta de la tubería:



- Generalmente ~ **2/3 de la resistencia** se debe a los **accesorios** y **ángulos**, no la longitud de la tubería
- Como regla general, la **velocidad del aire** ≤ 104 m^3/h (~ 61 cfm en una tubería de 4 pulgadas)
  - Debido a la disminución excesiva de presión, y del ruido que puede crear el aire al por las tuberías

Técnicas de despresurización activa del suelo

Punto de Succión:

- Perforar un agujero e insertar un tubo en el suelo produce resultados malos
- Generalmente extraer ~ dos a tres cubetas de 5 galones de tierra por fosa



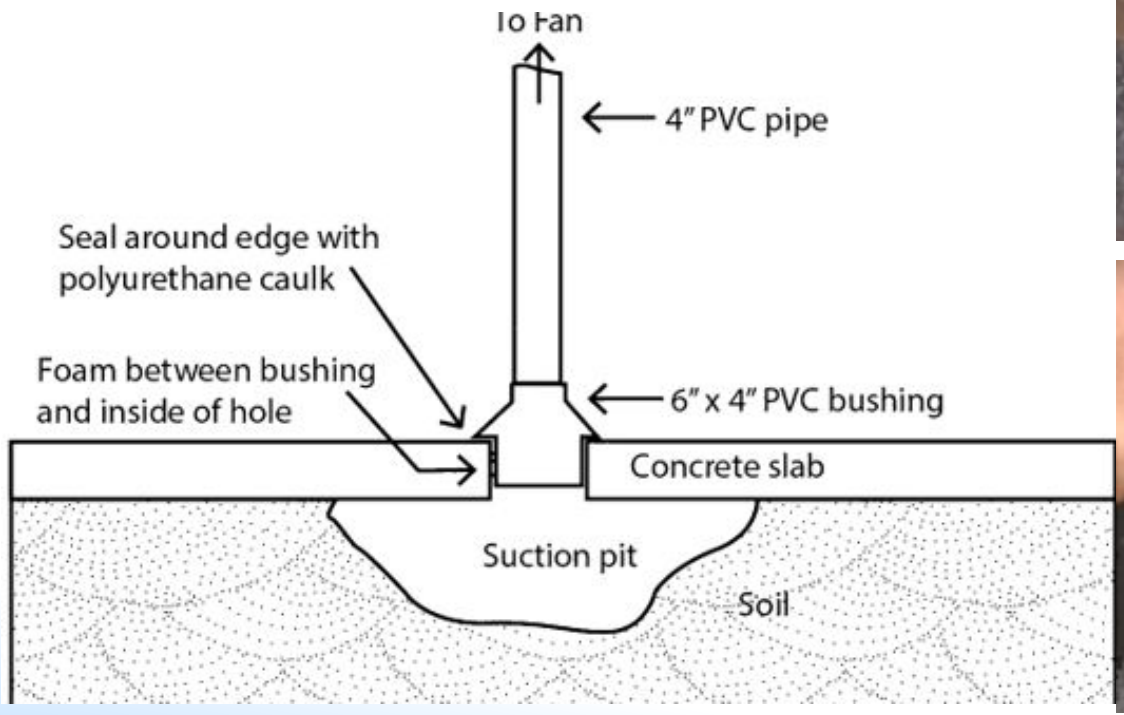






Técnicas de despresurización activa del suelo
Punto de Succión:

- Suelos más duros requieren extracción de más tierra
- **Aumentando el tamaño del poso** extiende el campo de presión negativa
  - Añada grava
  - reduce el número de puntos de succión necesarios
  - y el costo de la mitigación



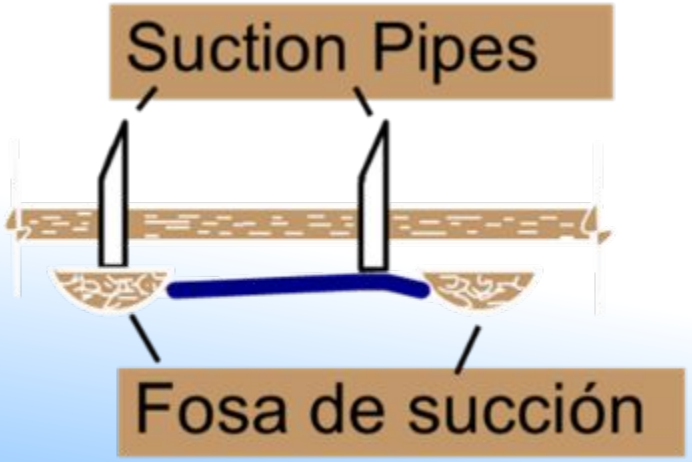


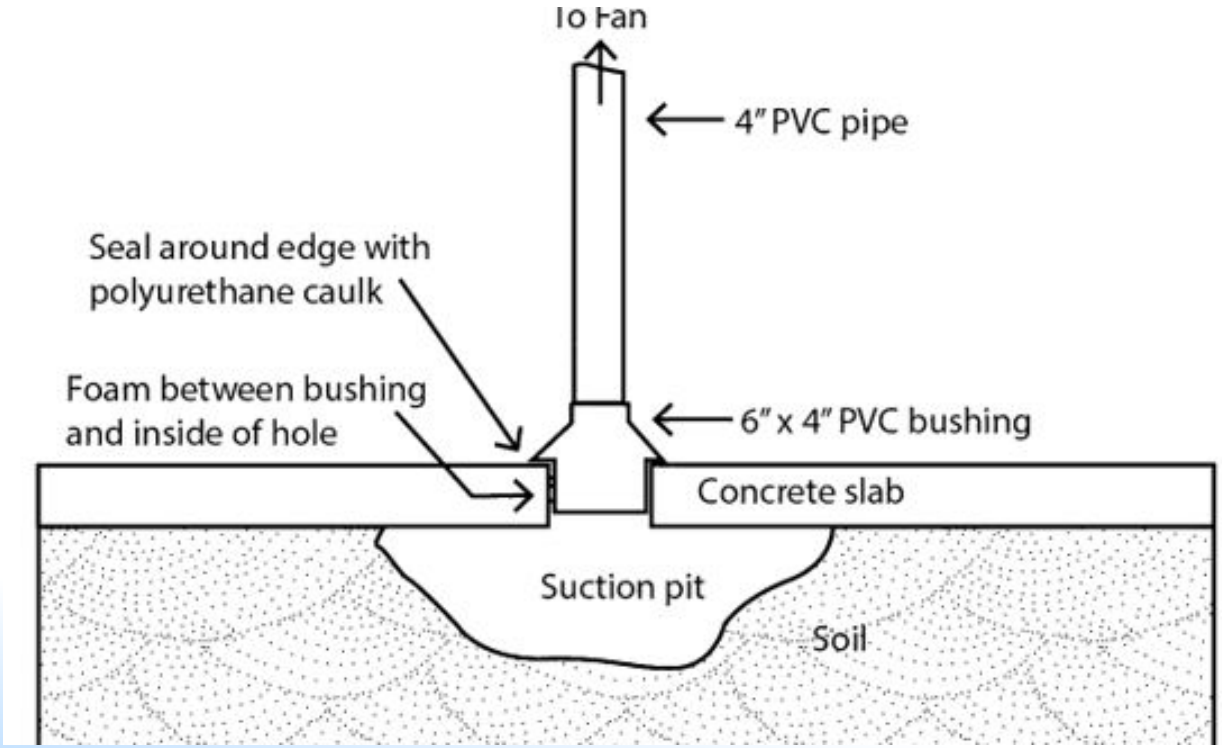


Técnicas de despresurización activa del suelo

Punto de Succión:

- Fuga de aire provocará una pérdida drástica de succión bajo la losa
- Pude necesitar mas puntos de succión
- Sello hermético
- ~15 cm diámetro









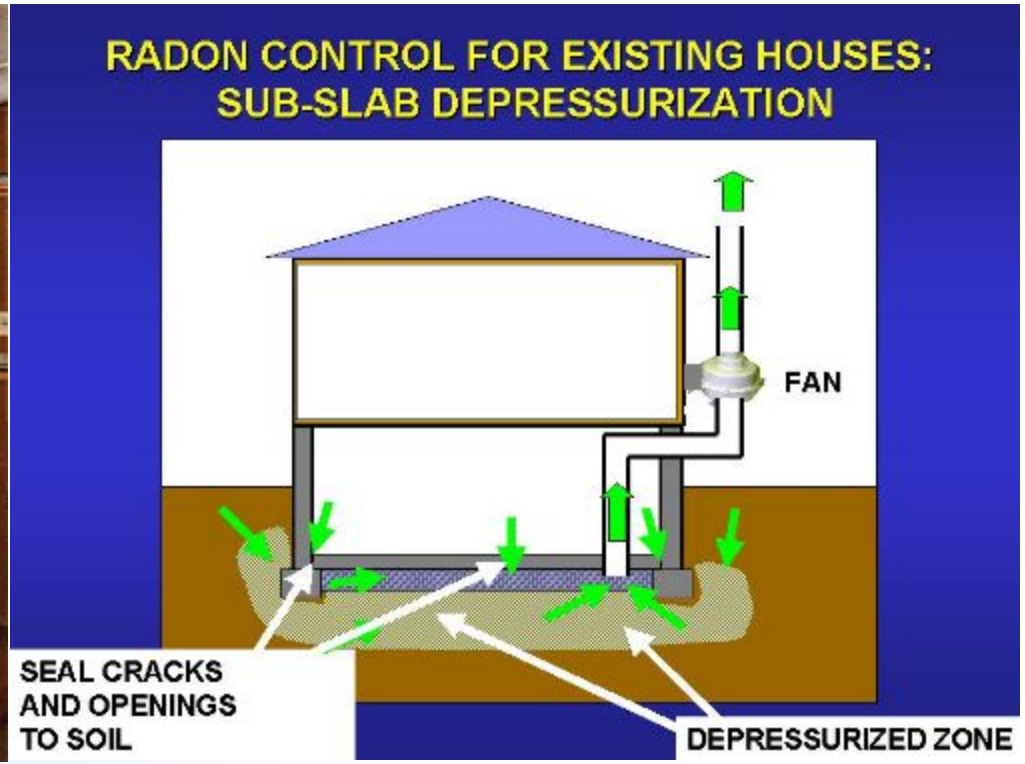
Técnicas de despresurización activa del suelo

Punto de Succión:

- Piso es taladrado, remueva medio metro cúbico de tierra, insertar tubo de PVC y conectarlo a otros
- Agregue un abanico para atraer el gas debajo de la fundación







Técnicas de despresurización activa del suelo

Punto de Descarga:

- Descargan radón concentrado (miles de Bq/m^3)
- El radón puede volver a ingresar al edificio a través de los conductos de ventilación, ventanas, el revestimiento
- La mitigación podría fracasar
- Agrege + puntos de succión
- Mida

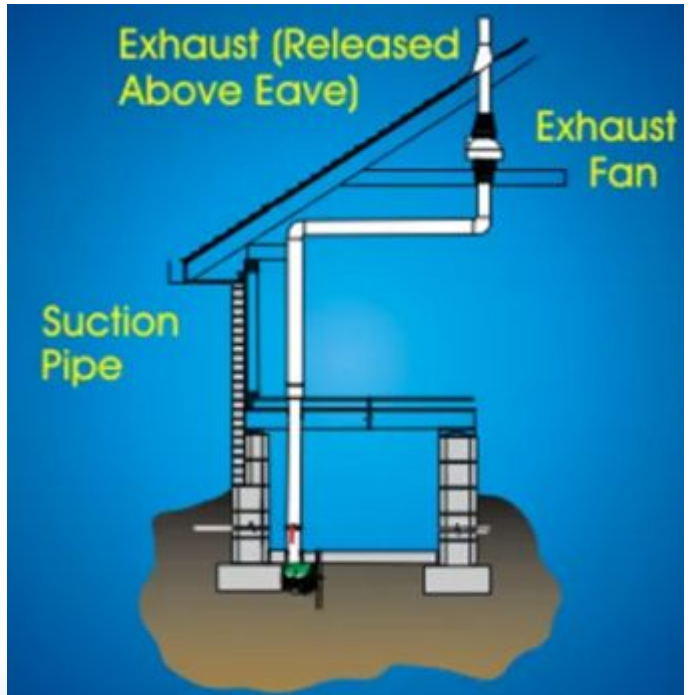




Técnicas de despresurización activa del suelo

Punto de Descarga:

- Instale la caja de conexiones en el área con suficiente espacio para la tubería PVC40
  - Descarga debe estar fuera
  - Espacio del ático desocupado - nunca en espacio acondicionado (podría liberar cantidades extremadamente elevadas de radón)
  - Garaje si no es espacio habitable

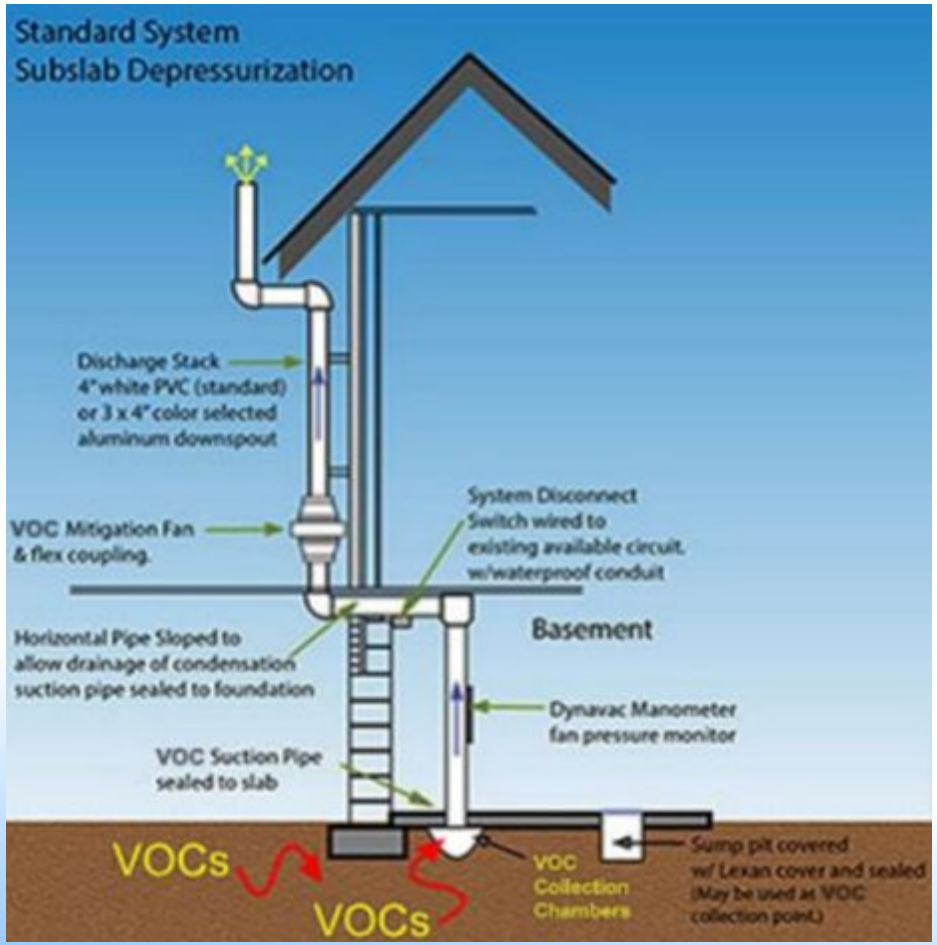




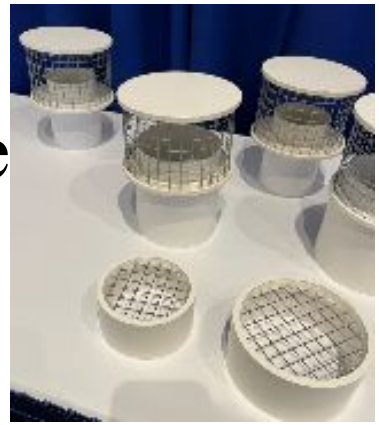


Técnicas de despresurización activa del suelo

Punto de Descarga:



- 3 metros sobre el nivel del suelo
- 3 metros de cualquier abertura
- 3 metros de otros edificios
- Encima del alero más alto y cerca de la cúspida del techo
  - 30 cm de la superficie del techo
  - **Malla** contra roedores y pajaros (1 cm)





Técnicas de despresurización activa del suelo
Indicadores del Sistema:

- Sistema de advertencia visible o audible - manómetro Tubo-U
- Marque el sistema
- Instale abanico de ~**90** a 300 Watt **afuera** o en el **ático** (**por que?**)
- Documentación del sistema



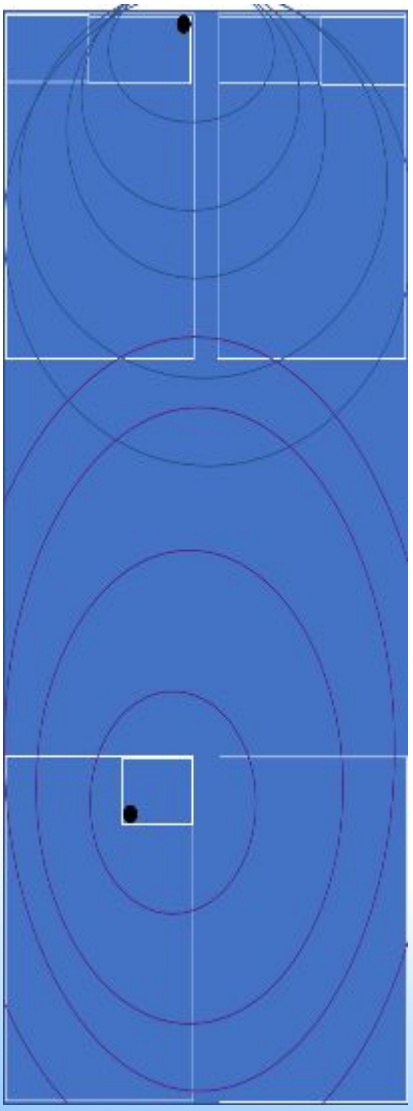




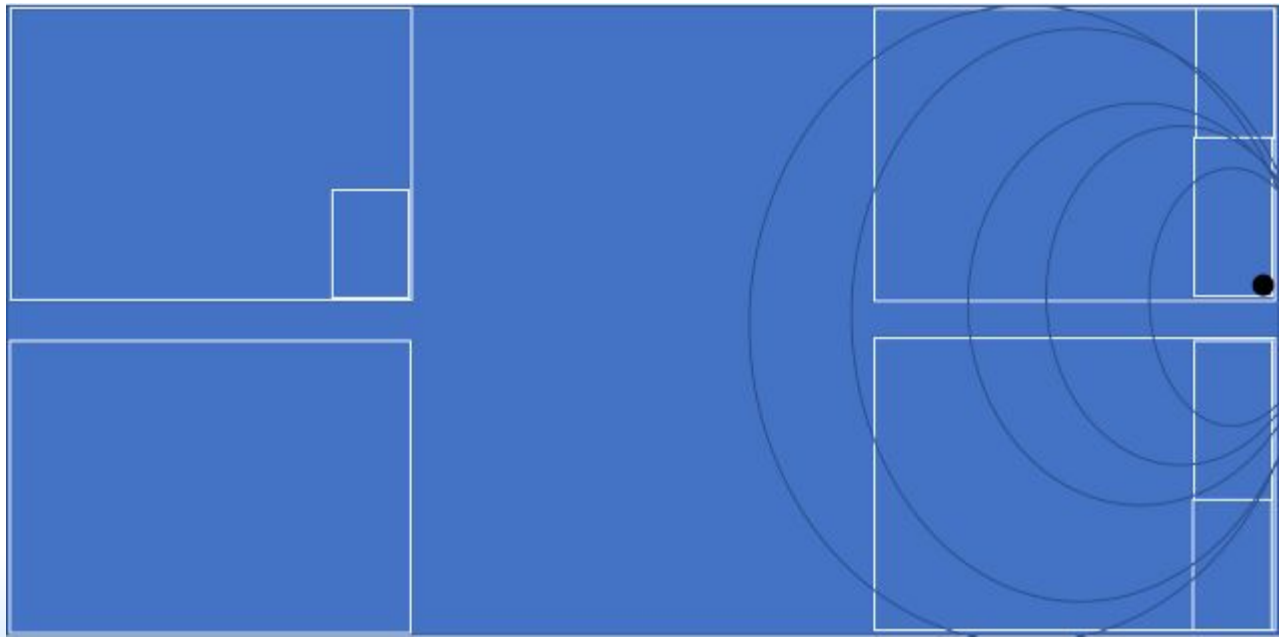


Técnicas de despresurización activa del suelo

Evaluación del Sistema:

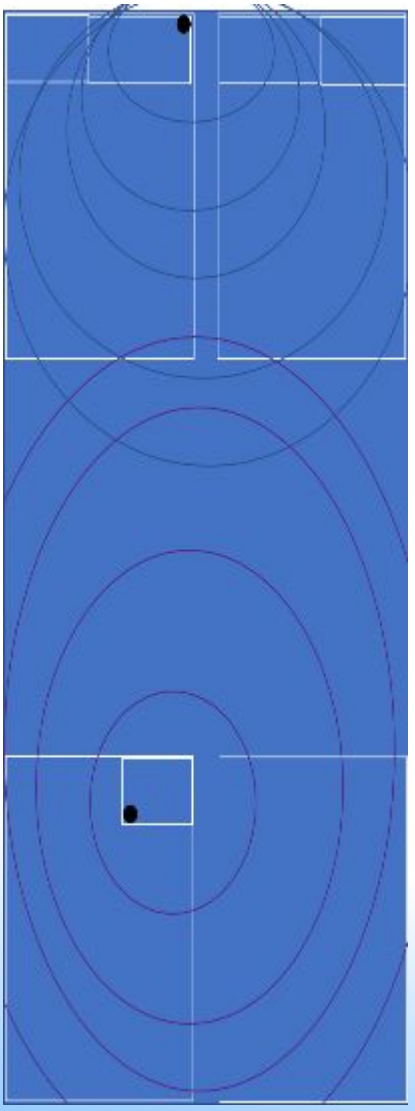


- Mida niveles de radón resultantes y los flujos y presiones desarrollados en las tuberías
- Necesario si los niveles de radón permanecen elevados

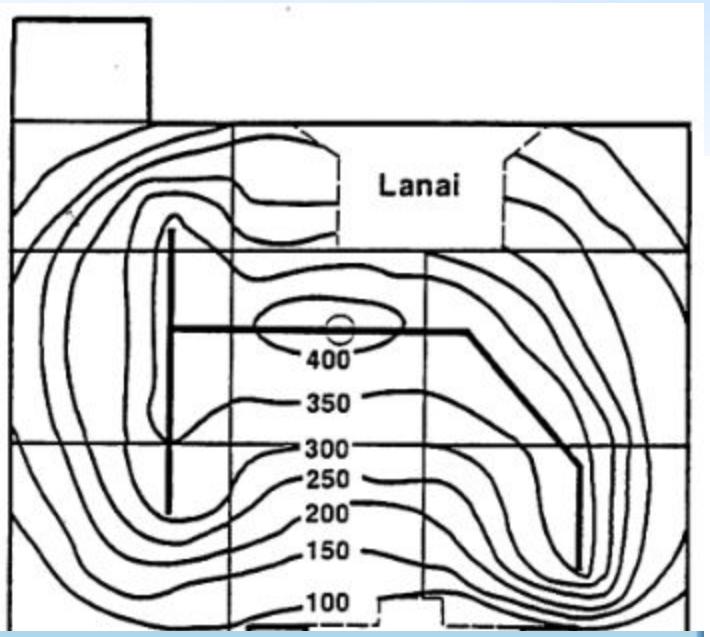


Técnicas de despresurización activa del suelo

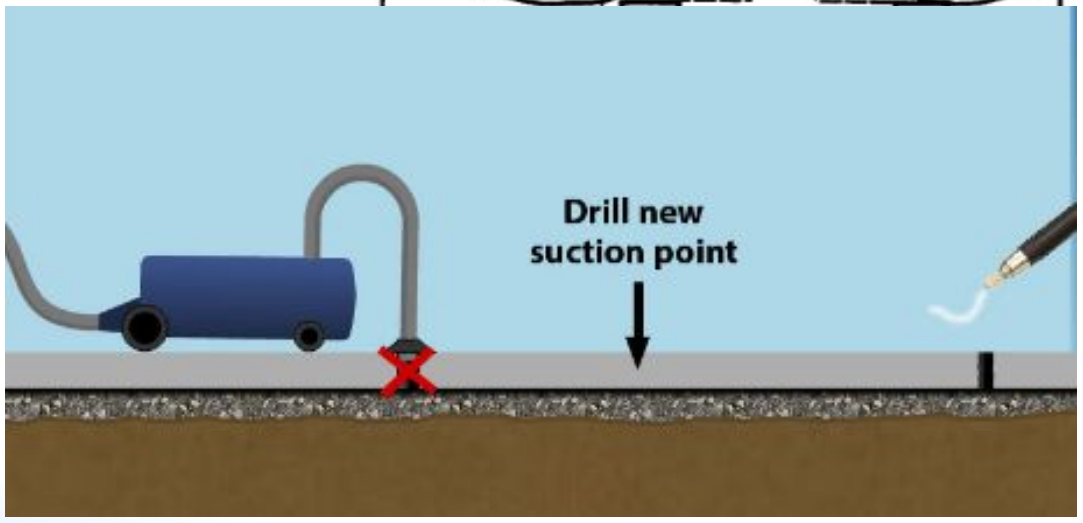
Evaluación del Sistema:



- Aspiradora y **Humo liquido**
- **Manómetro** mide diferenciales de presión
- ¿Cuántos puntos de succión necesita para reducir la entrada de radón?

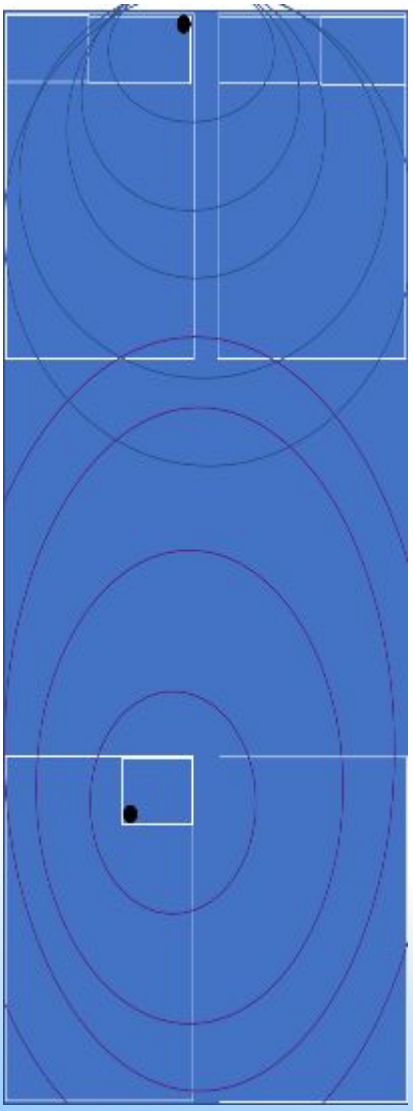


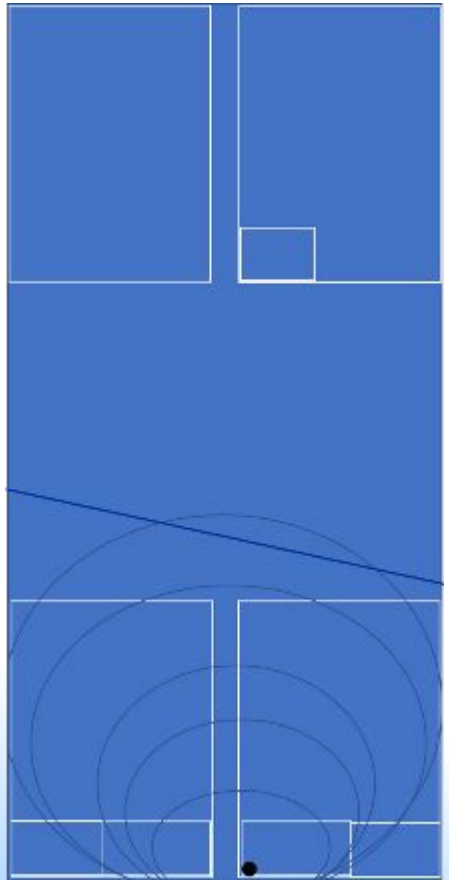




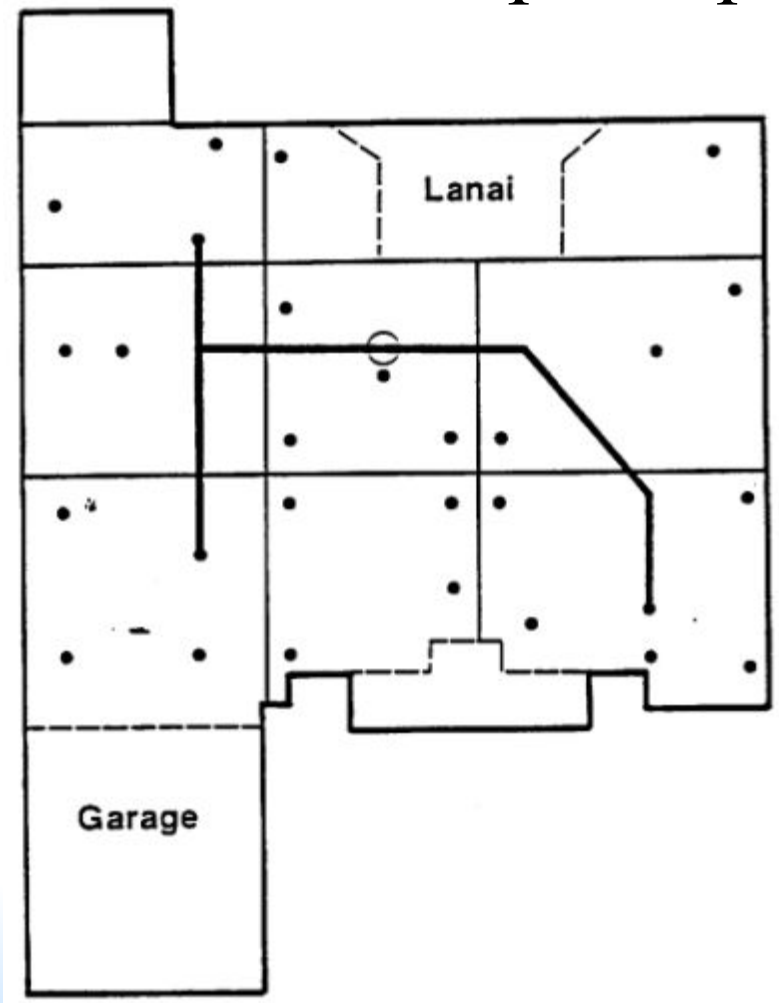
Técnicas de despresurización activa del suelo

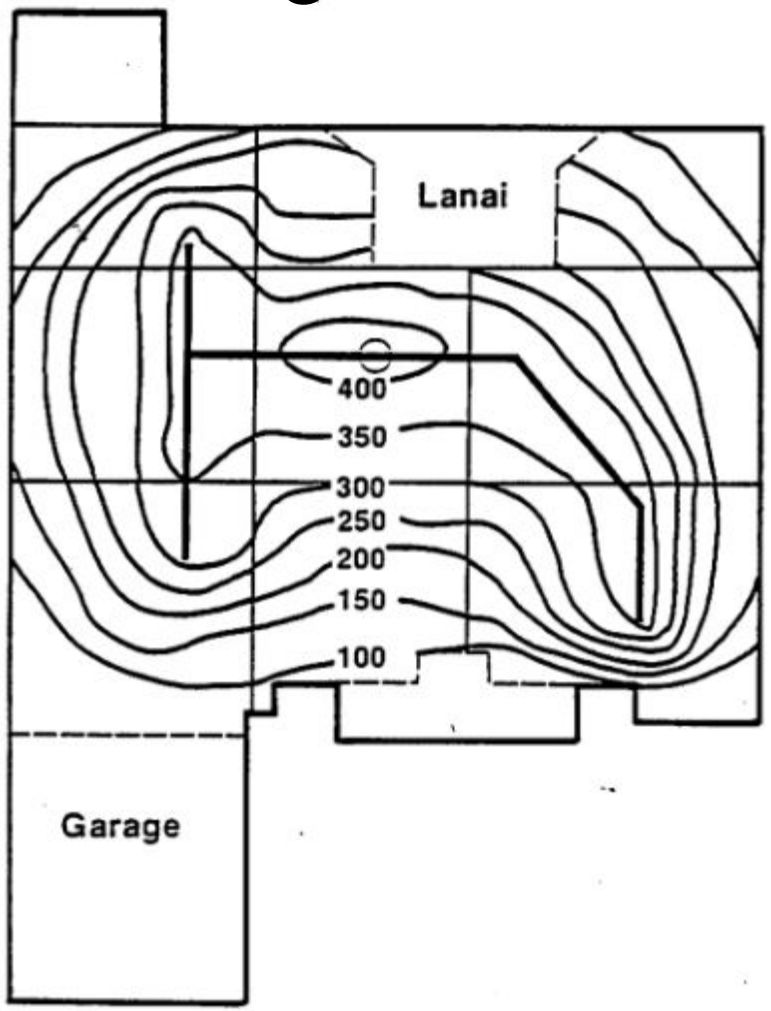
Evaluación del Sistema:



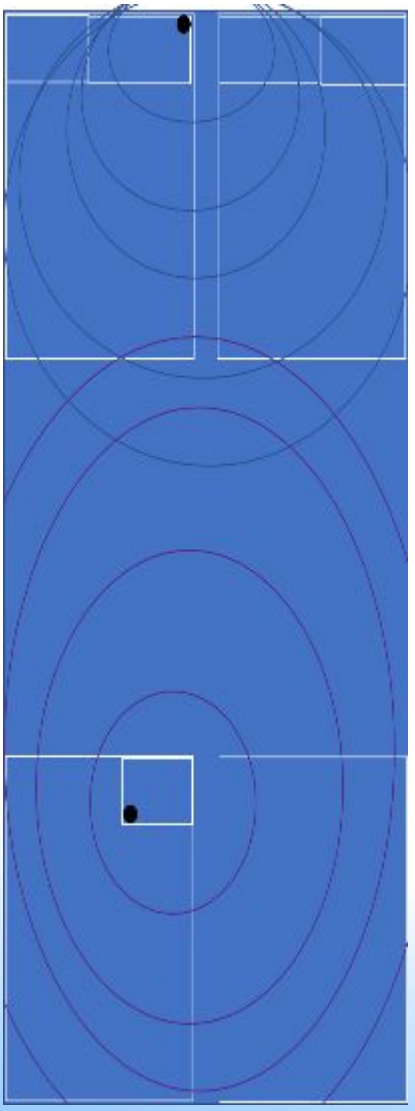


- Determine extensión del campo de presión negativa

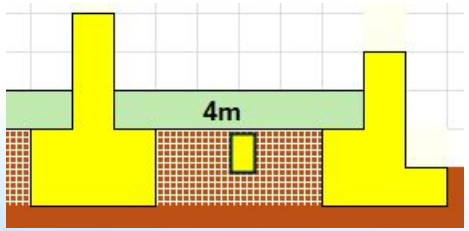


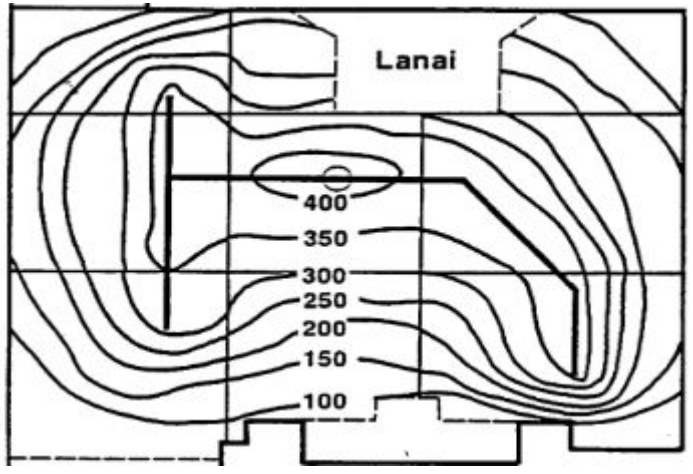


Técnicas de despresurización activa del suelo
Evaluación del Sistema:

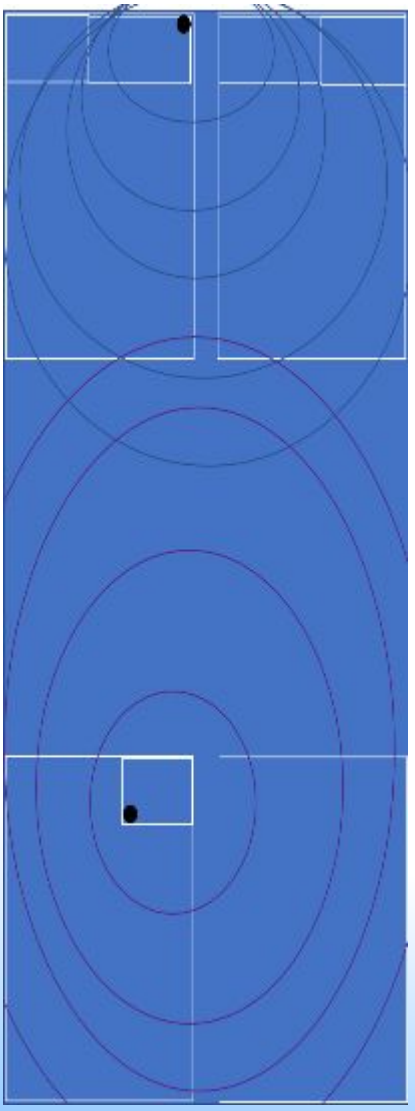


- ¿Por qué los campos de presión no se extienden?
  - **viga de nivelación** o una adición que tenga **relleno** mas **compactado** que donde se colocó el punto de succión
  - La **fosa de succión** no se amplió lo suficiente
  - El **suelo es muy compacto** puede necesitarse un ventilador de mas succión

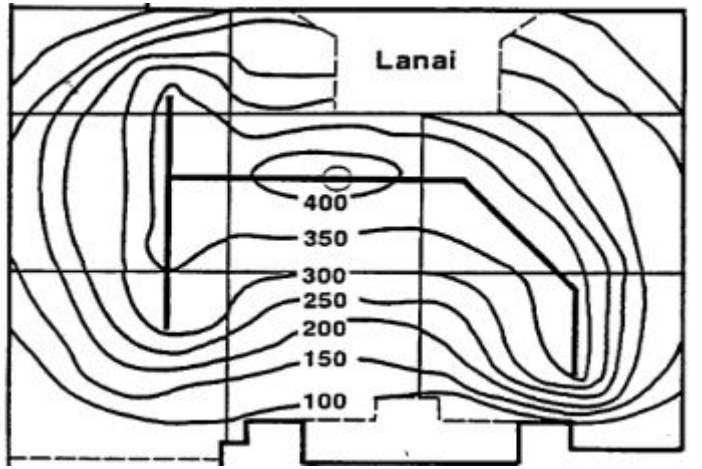




Técnicas de despresurización activa del suelo
Evaluación del Sistema:



- ¿Por qué los campos de presión no se extienden?
  - **Fugas de aire** en las partes más alejadas del sistema (selle juntas y penetraciones de plomería)
  - **Fractura/rotura** en la **tubería** de succión
  - Suelo es **muy permeable** (entra mucho aire exterior - Utilizar ventilador de mayor capacidad volumétrica)

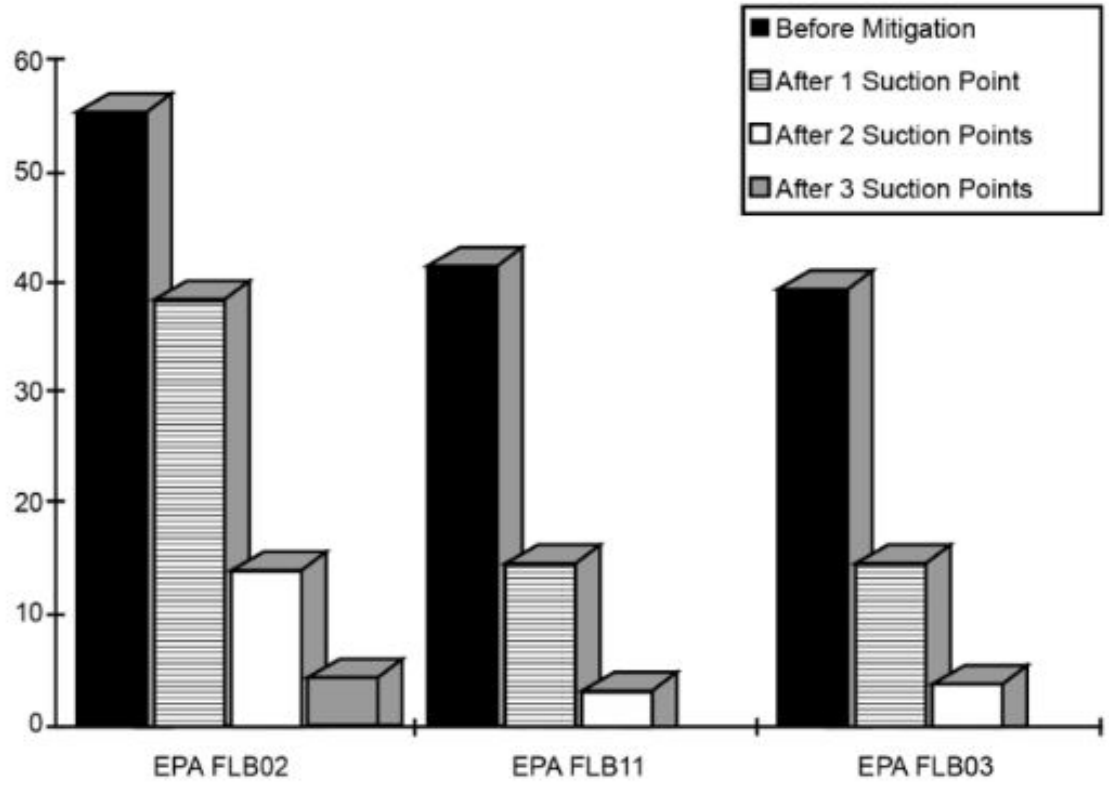


Técnicas de despresurización activa del suelo

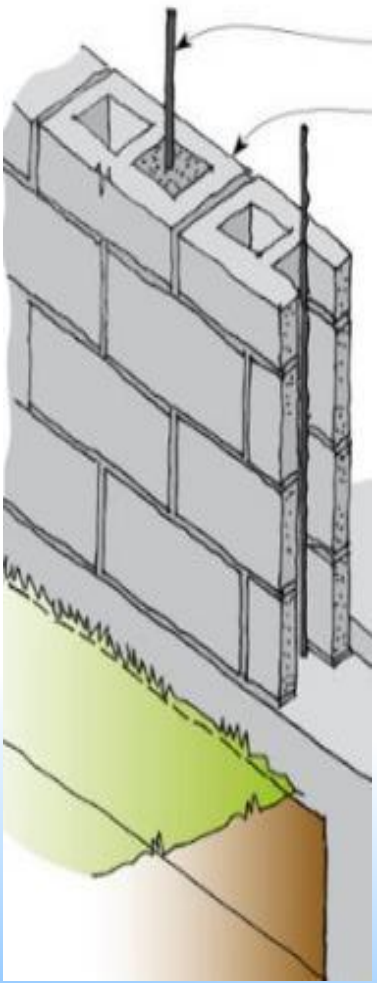
Rendimiento del Sistema:

- Reducen la concentración de radón
- Puntos de succión adicionales reducen mas los niveles
- Mitigar y medir

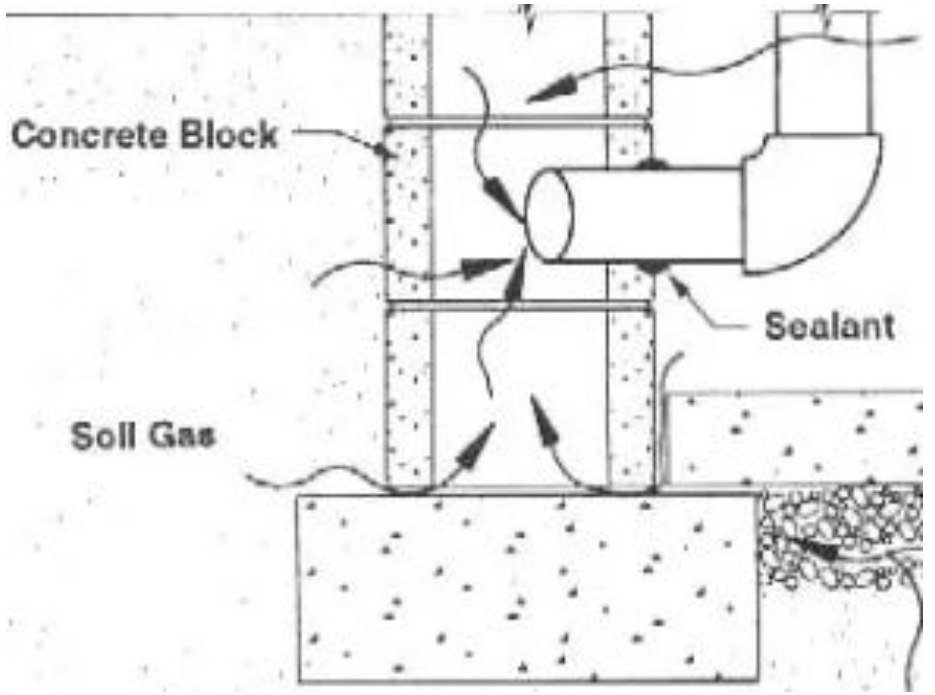




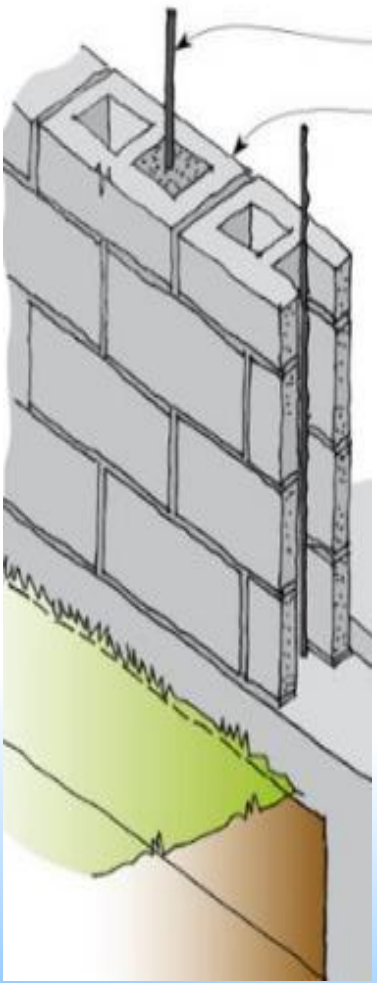
Despresurización de muros de bloques



- Bloques pueden ser punto de entrada al radón
- Técnica crea vacío en la parte hueca de la pared
- El radón se recoge en los bloques (chimenea) y expulsa al exterior
- Despresurización directa de bloques



Despresurización de muros de bloques

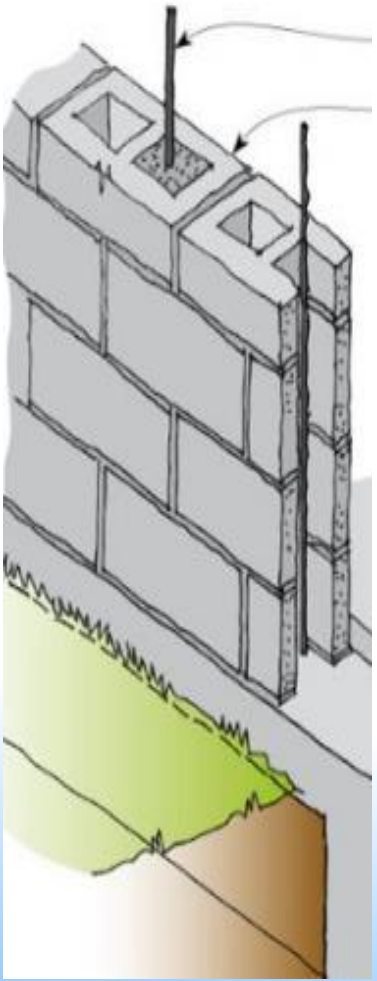


- Paredes tienen diferentes extensiónes del campo de presión negativa afectado por:
  - Pilastras llenas con hormigón
  - Cemento solido sobre marcos de las puertas
  - Muros de esquinas
  - Núcleos de bloques, rellenados para reforzarlos



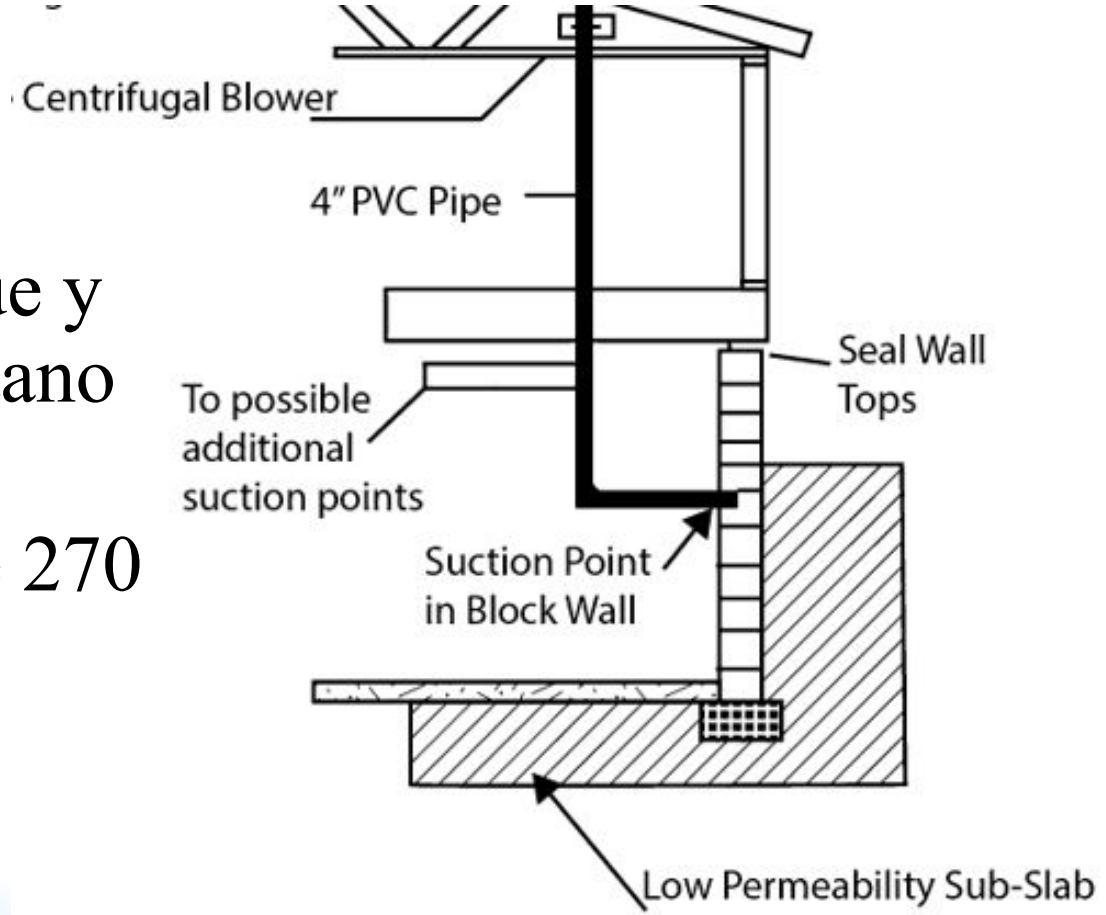


Despresurización de muros de bloques

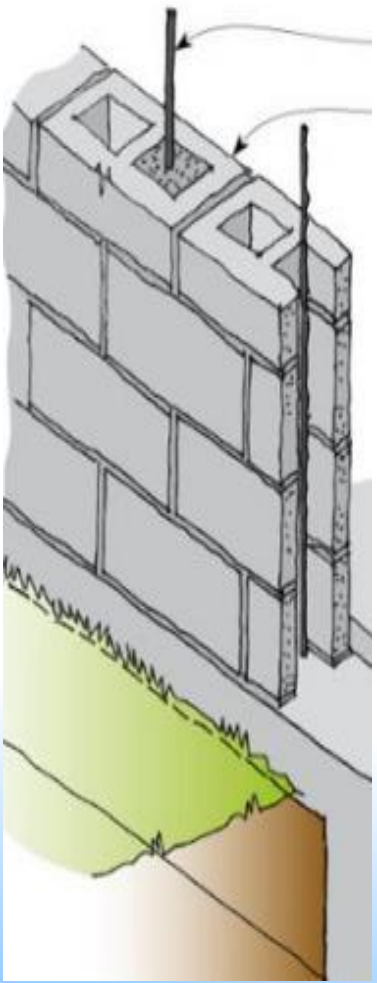


- Se penetra las paredes en cada una de las zonas aisladas

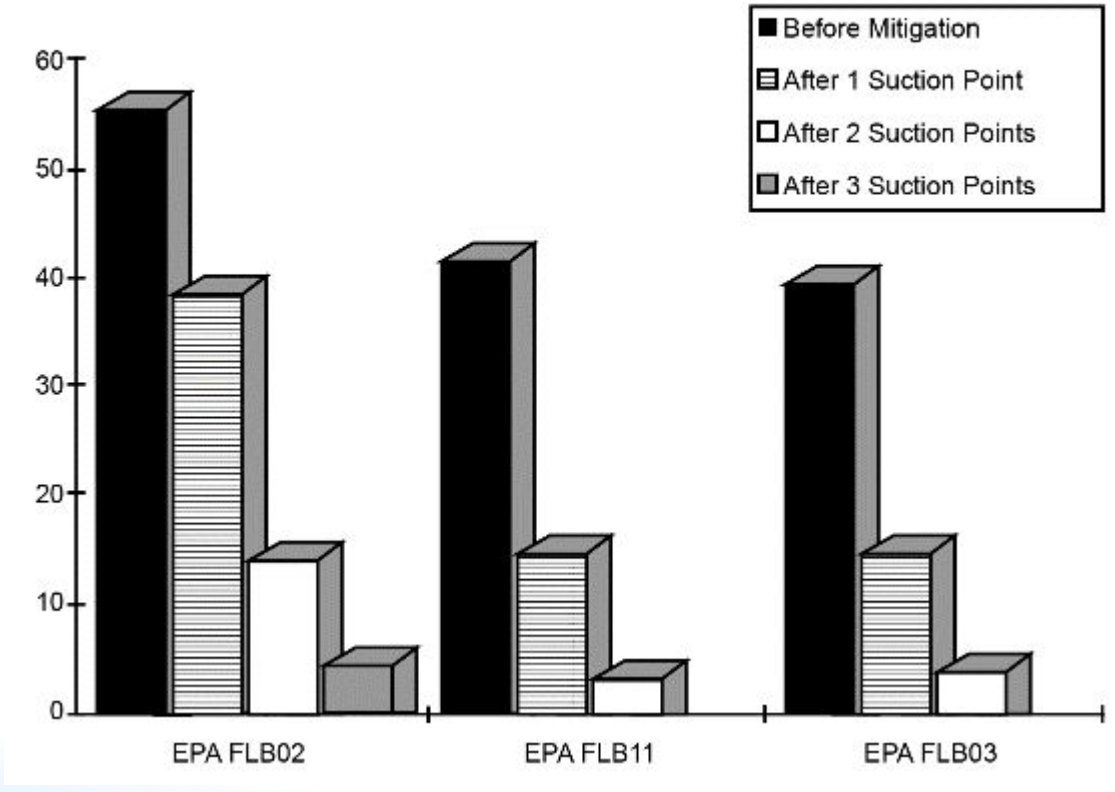
– Tubería se inserta unos centímetros dentro del bloque y sella con espuma de poliuretano expansiva
– Generalmente un abanico de 270 cfm es suficiente



Despresurización de muros de bloques

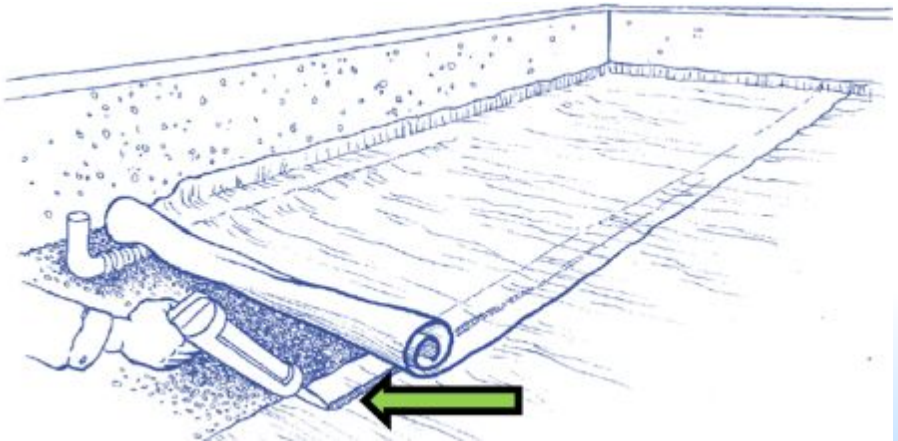


- Reducen la concentración de radón
- Puntos de succión adicionales reducen los niveles de radón
- Mitigar y medir



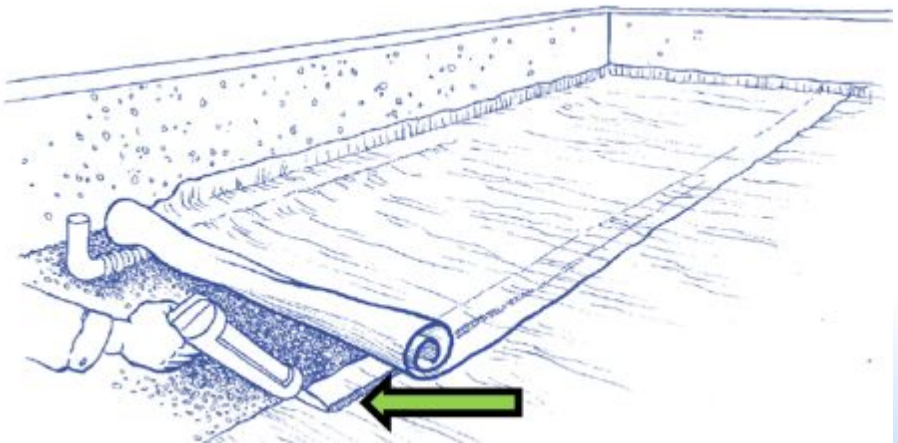
Despresurización bajo membranas: espacios de acceso

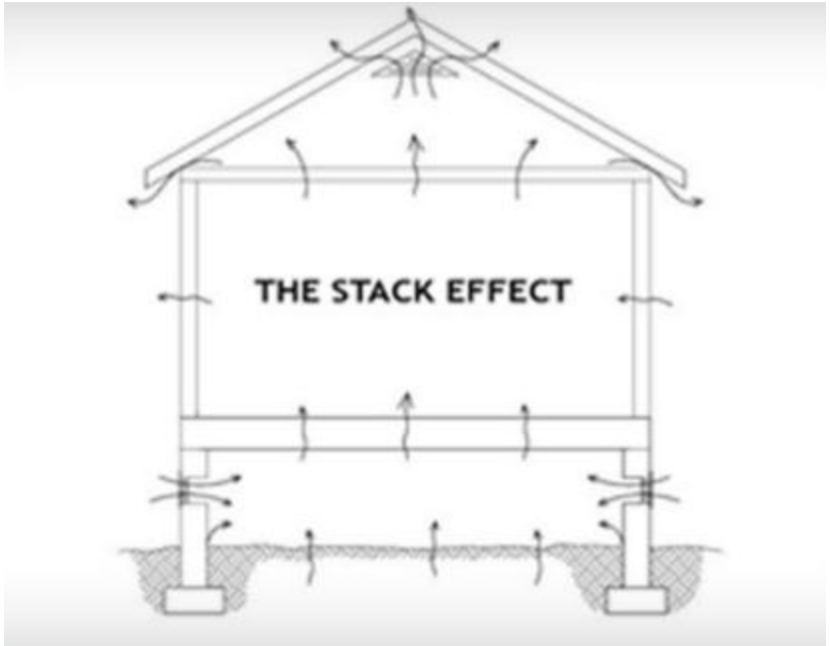
- Sella el espacio de acceso/penetraciones al área habitable
- Succión es realizada bajo láminas de plástico/lona o una membrana colocada sobre el área del suelo expuesto
- La membrana funciona como el piso de concreto



Despresurización bajo membranas: espacios de acceso

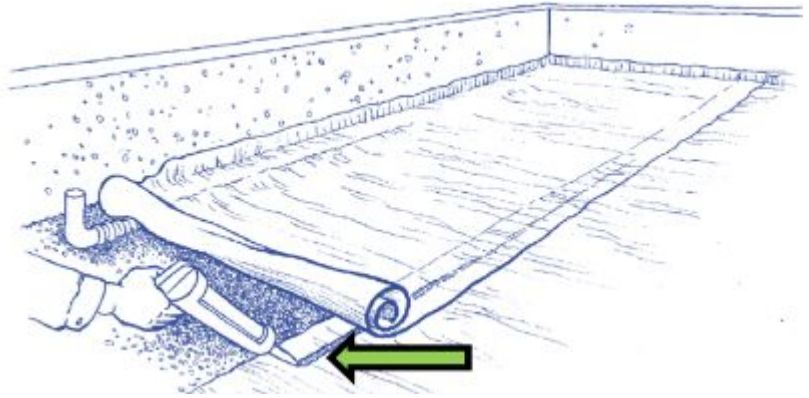
- La presión negativa extrae el radón del suelo hacia el hogar
- El edificio está presurizado negativamente con respecto al espacio de acceso, el aire del espacio de acceso con y su radón es aspirado hacia el espacio ocupado a través de los huecos y aberturas





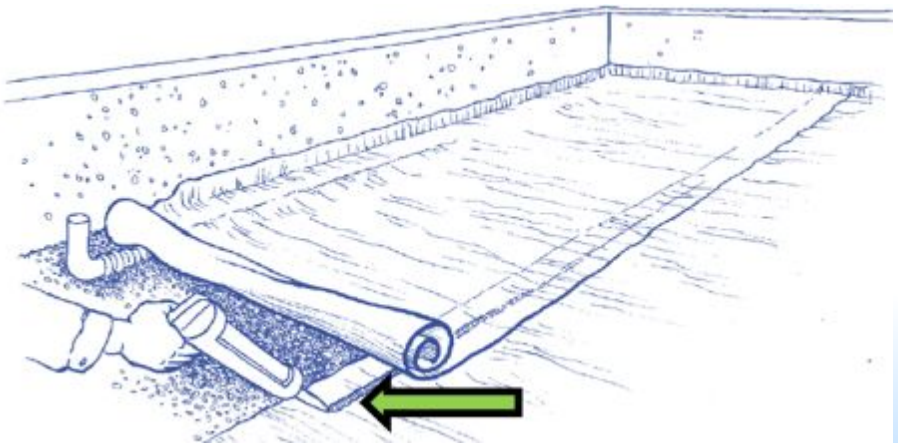
Despresurización bajo membranas: espacios de acceso

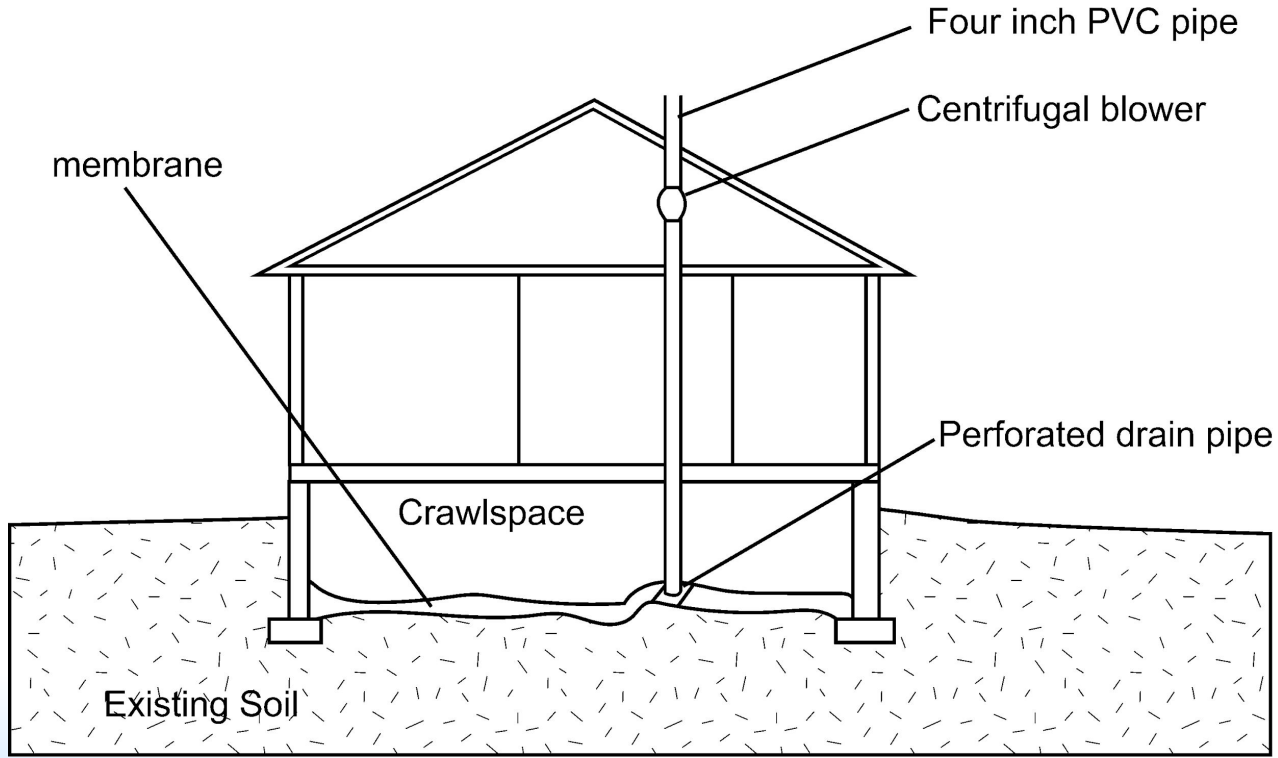
- Técnicas de mitigación:
  - Ventilación pasiva del espacio
    - Puede aumentar la tasa de ventilación (si existen fuerzas naturales como el viento) y diluyen las concentraciones de radón
  - Despresurización del espacio
    - Esta presión negativa aumenta la entrada de radón al espacio; la inversión de presión a través del piso evita que el aire del espacio de acceso con radón ingrese al espacio ocupado
  - Presurización del espacio
    - No se utiliza puede aumentar contaminantes



Despresurización bajo membranas: espacios de acceso

- Utilice goma de espumas expansibles y membranas gruesas de polietileno
- Sistema de recolección de radón (minería de radón)

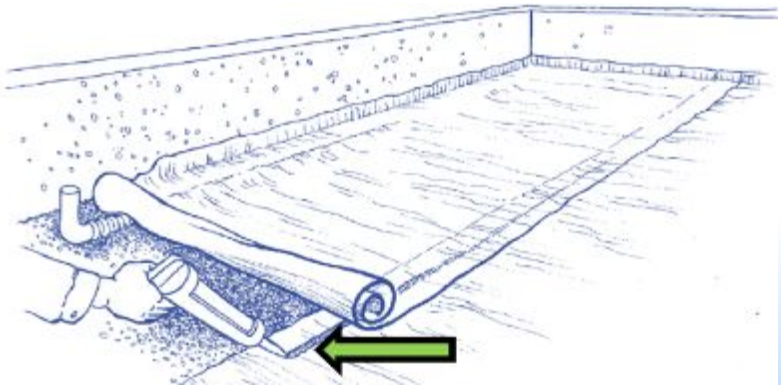


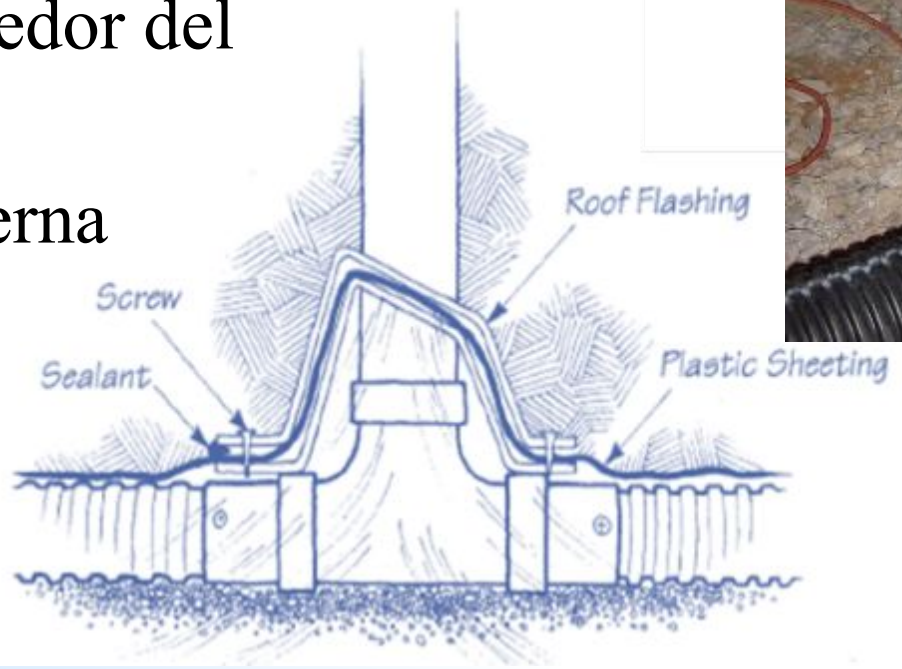


Despresurización bajo membranas: espacios de acceso

- Conecte tubos de ventilación a tuberías corrugadas con huecos para recolección de gases; fíjelos con tapajuntas de techo y ventile hacia el exterior de la casa
  - Coloque barrera de vapor
  - Selle y pegue la membrana alrededor del tubo de succión
  - Instale la caja de conexiones externa

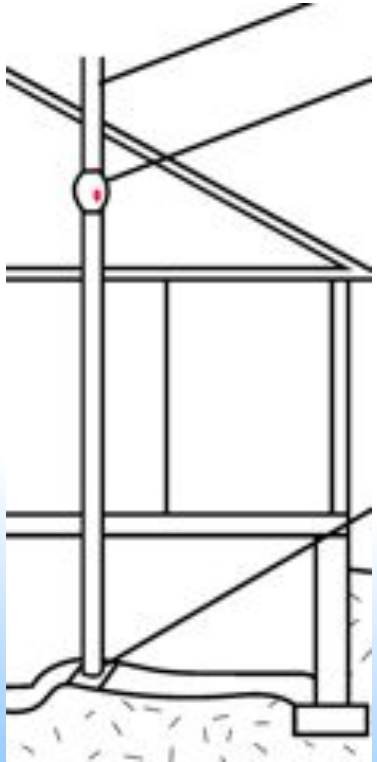




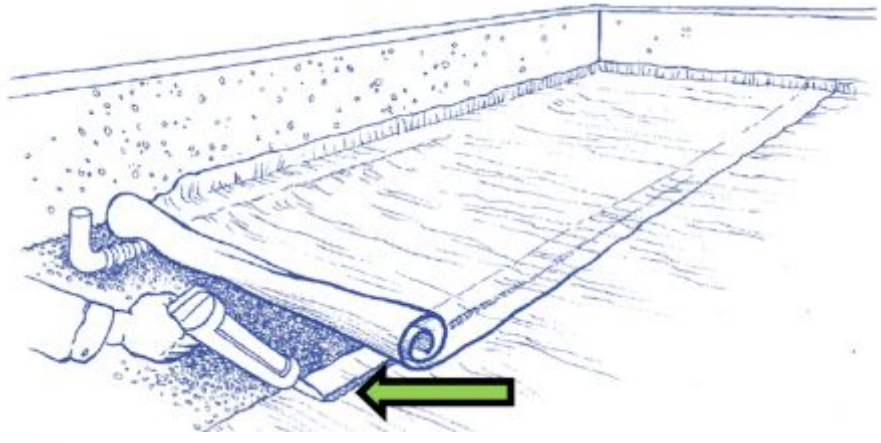


Despresurización bajo membranas: espacios de acceso

- Los tapajuntas del techo crean buen sellado sin fugas de aire
  - Los ventiladores de radón nunca deben instalarse en el sótano ni en el espacio de acceso – **¿por qué?**
  - Instale caja de conexiones en el ático en caso de que sea necesario activar el sistema







Despresurización bajo membranas: espacios de acceso

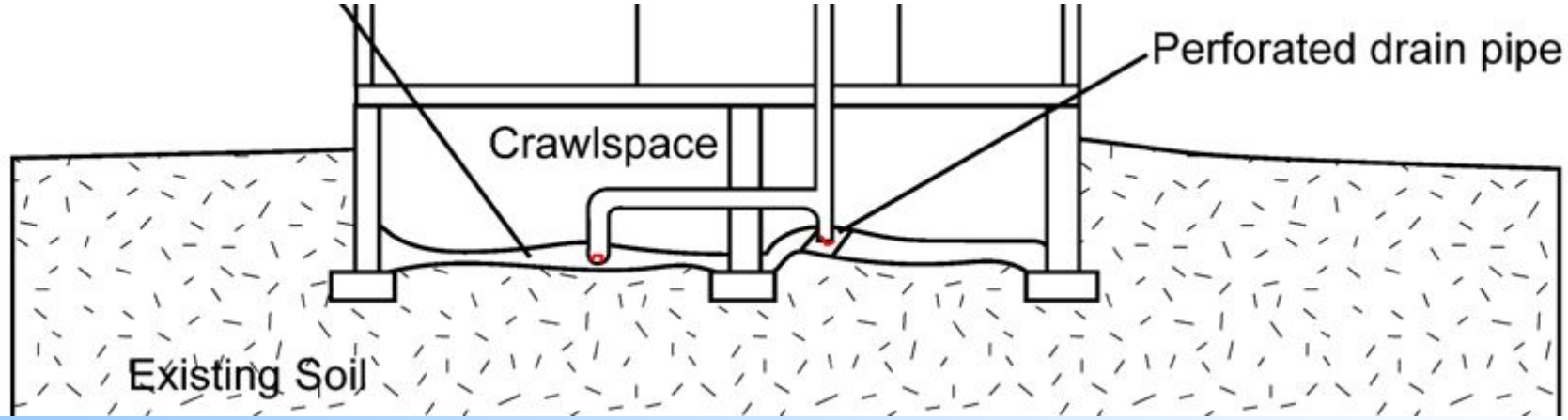
- Evite pasar los conductos de HVAC por espacios de acceso. Si es necesario, utilice conductos sellados
- Evite el paso del radón a zonas habitables

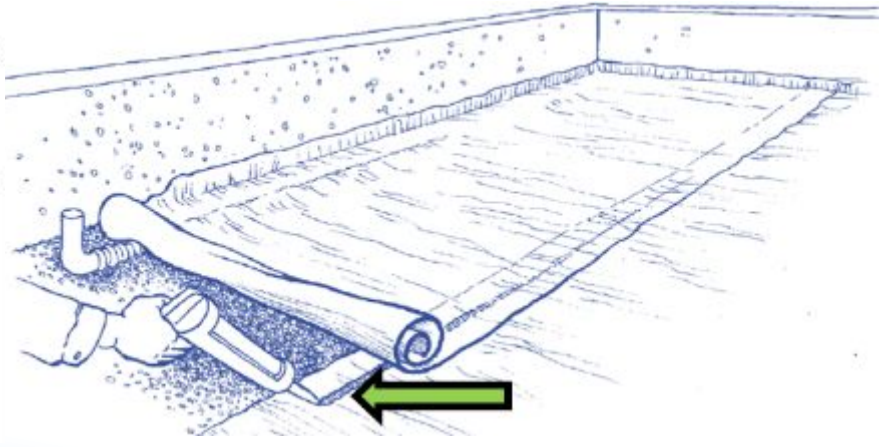




Despresurización bajo membranas: espacios de acceso

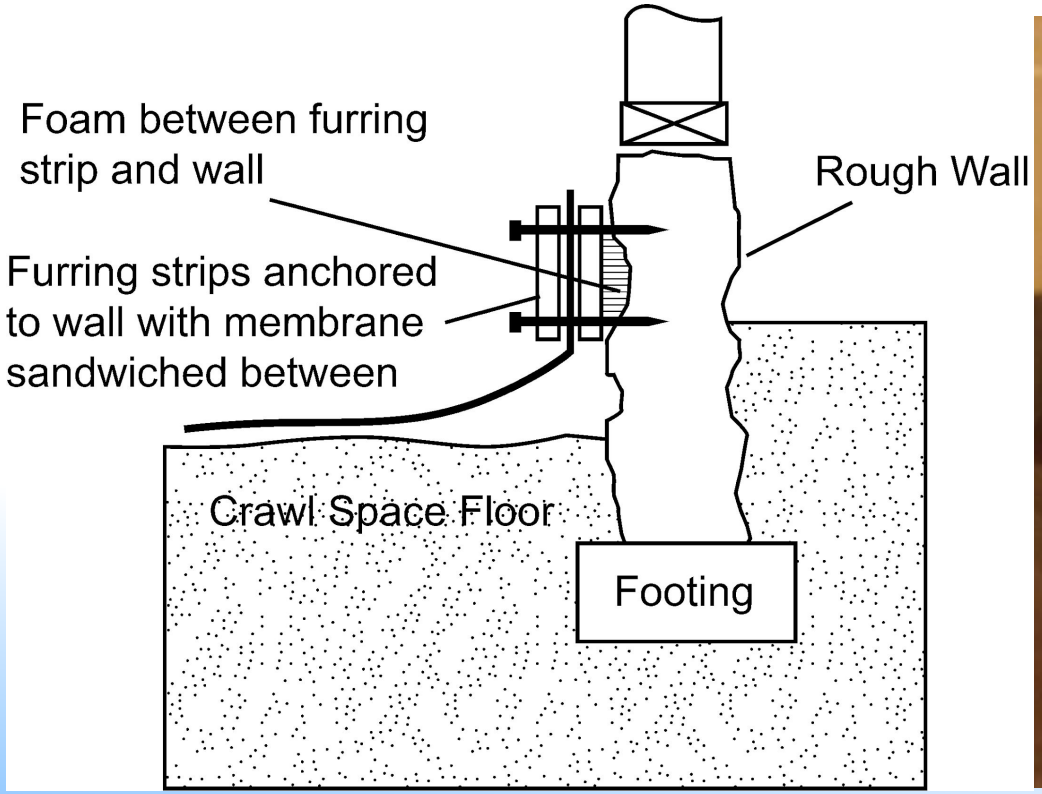
- Junta las membranas 30 cm con un línea de sellador y asegura con cinta adhesiva
- Varios puntos de succión
- Descarge en en techo

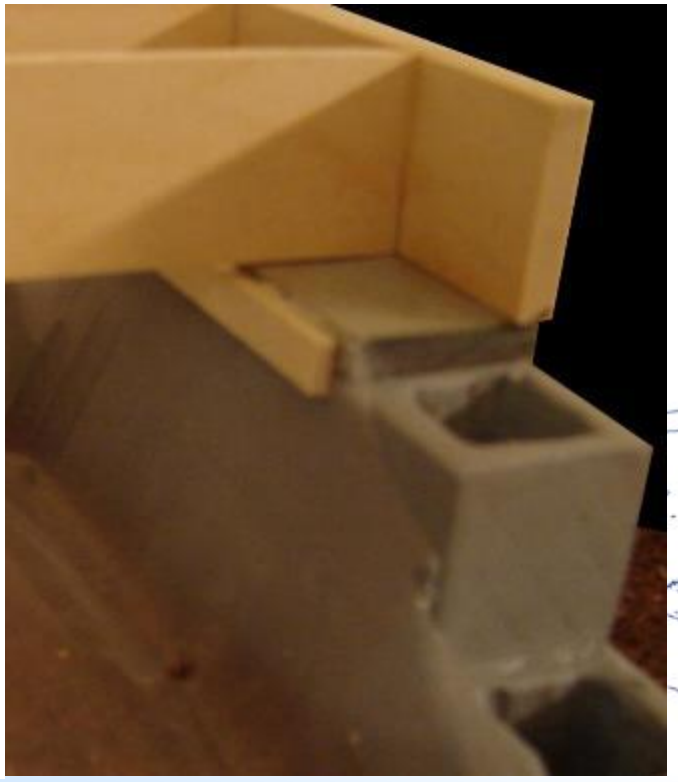


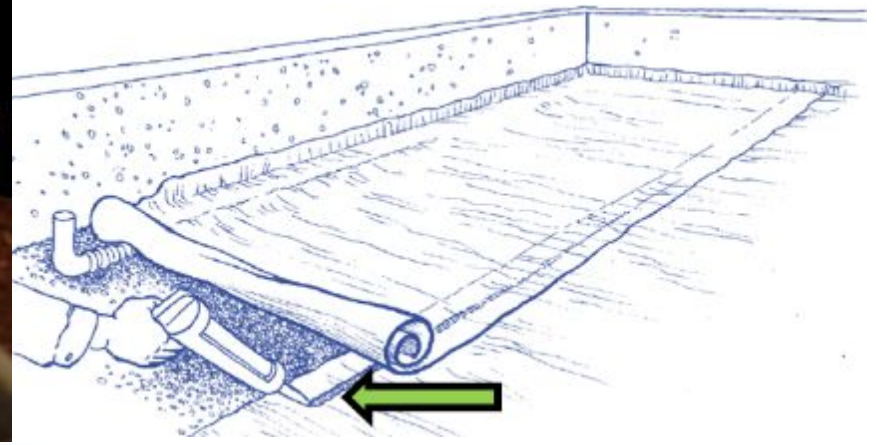


Despresurización bajo membranas: espacios de acceso

- Fija la membrana a las paredes con **madera tratada a presión** intercalándolo con otra madera y pegado (pegamento de espuma, clavos o tornillos)

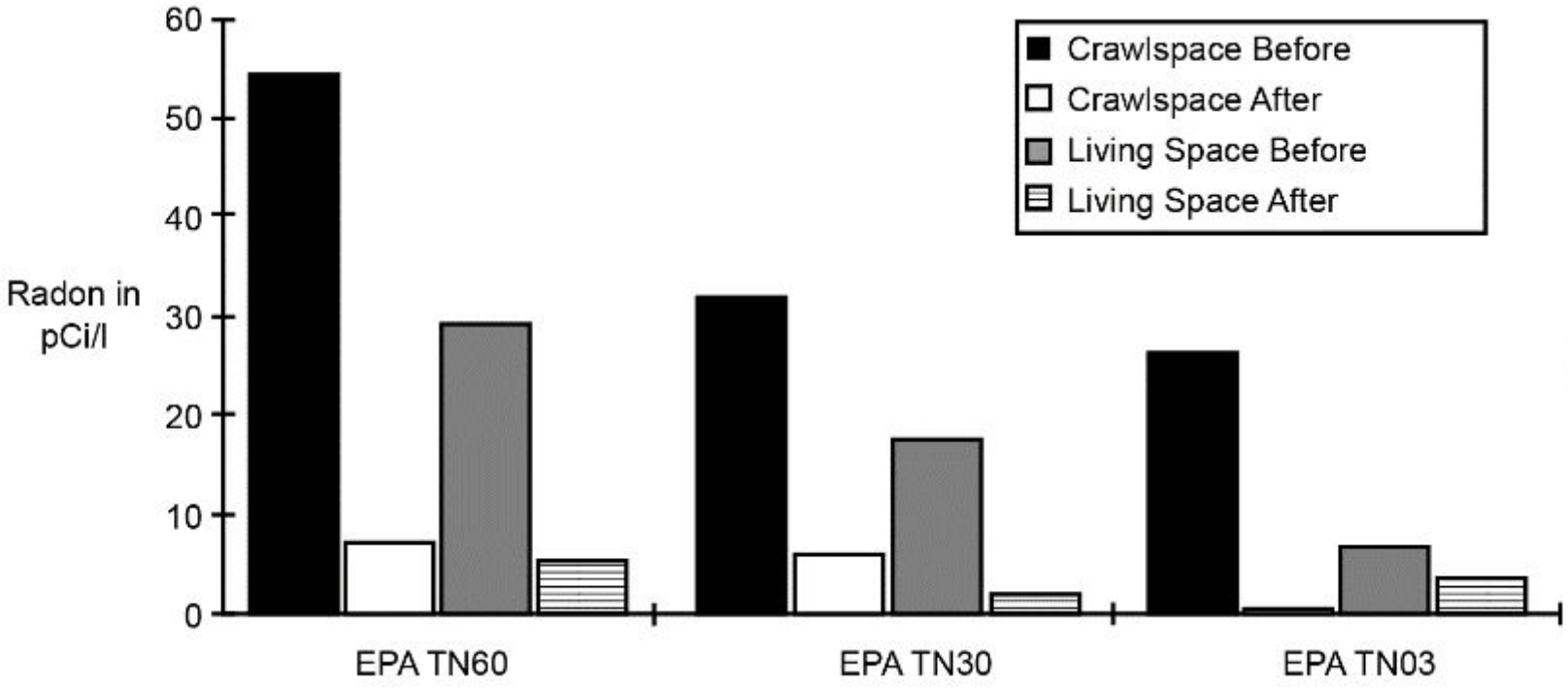


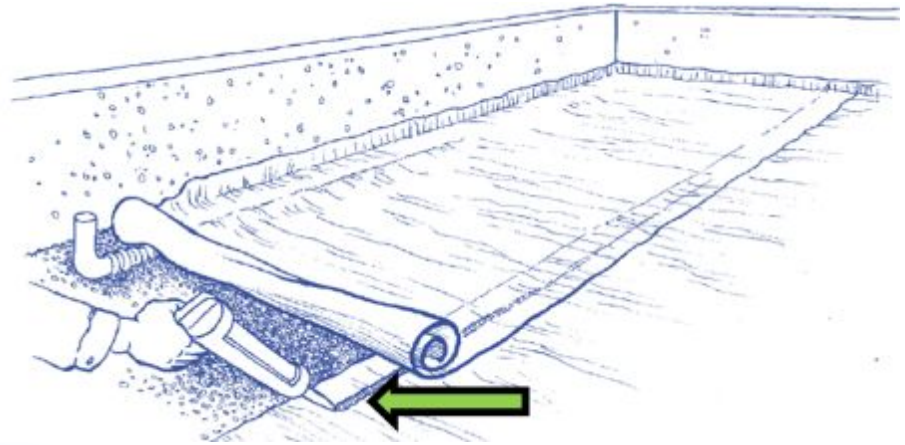




Despresurización bajo membranas: espacios de acceso

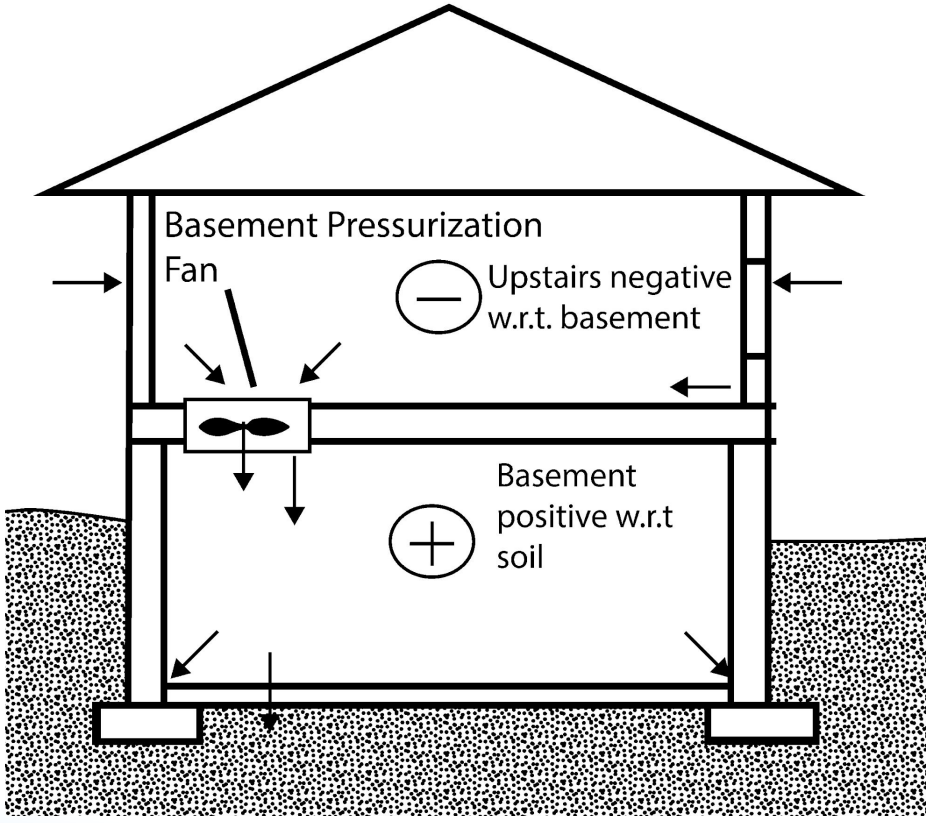
- Estos sistemas activos han tenido un excelente rendimiento, en casas que están completamente sobre espacios de acceso, y otras con combinación de sótano





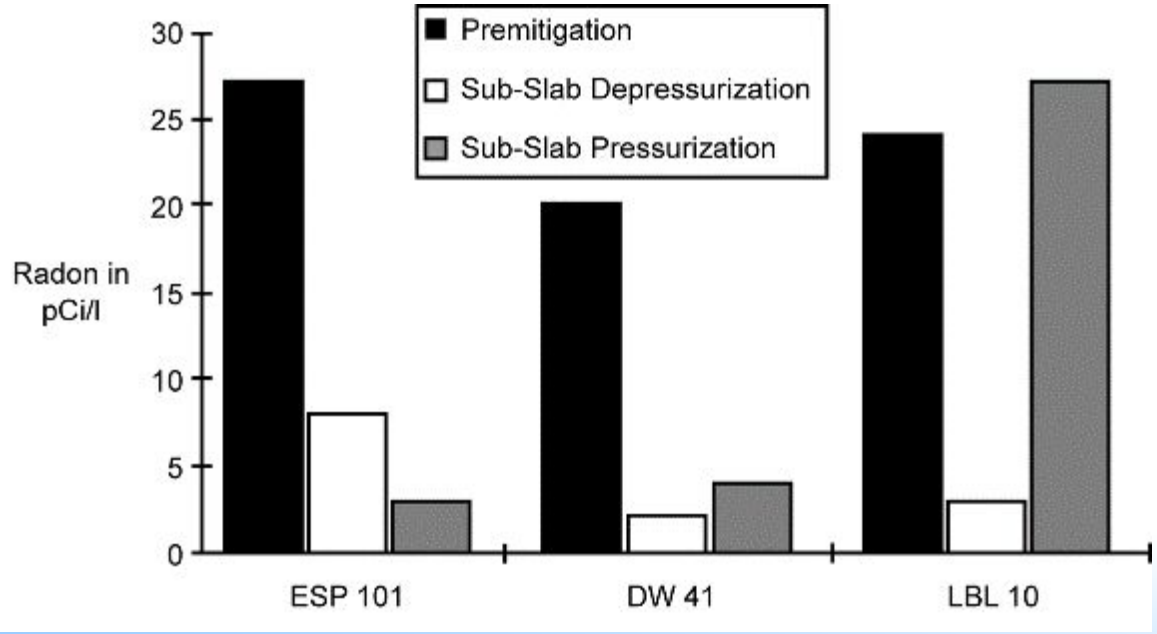
Control de acumulación – Ventilación y Presurización

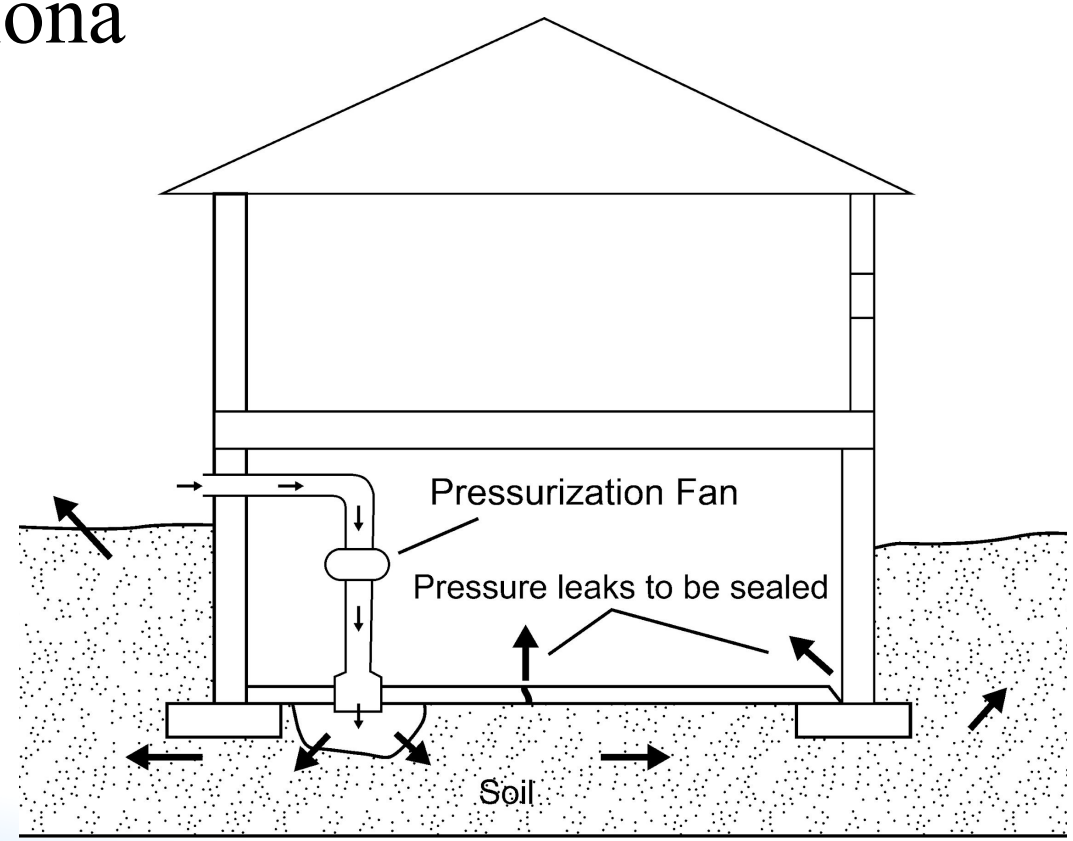
- **Ventilación** para mitigar el radón generalmente es efectiva en casas con niveles de radón bajos o moderados
- La **presurización** invierte el gradiente de presión natural para evitar que gases del suelo ingresen al edificio y reduce las concentraciones de radón por dilución
  - Crea mayor presión en el sótano que afuera y hace que el aire fluya a través de grietas y agujeros en el sótano hacia el suelo



Control de acumulación – Ventilación y Presurización

- Presurizar el suelo debajo de la losa puede reducir los niveles de radón por dilución
- Funciona mejor donde el suelo es permeable y con niveles bajos de radón, a veces no funciona
- Necesitan ventiladores más grandes





Control de acumulación – Ventilación y Presurización

Ventilación de Ingeniería Diseñada

- Diluyen el radón y presurizan el edificio
- El flujo de aire:
  - Planificado en un **sistema equilibrado**, **mejora** la **calidad** del **aire interior**
  - Mantiene suministro y escape de aire controlado
  - **Evite la minería de radón - No** instale conductos de intercambio debajo o dentro del piso

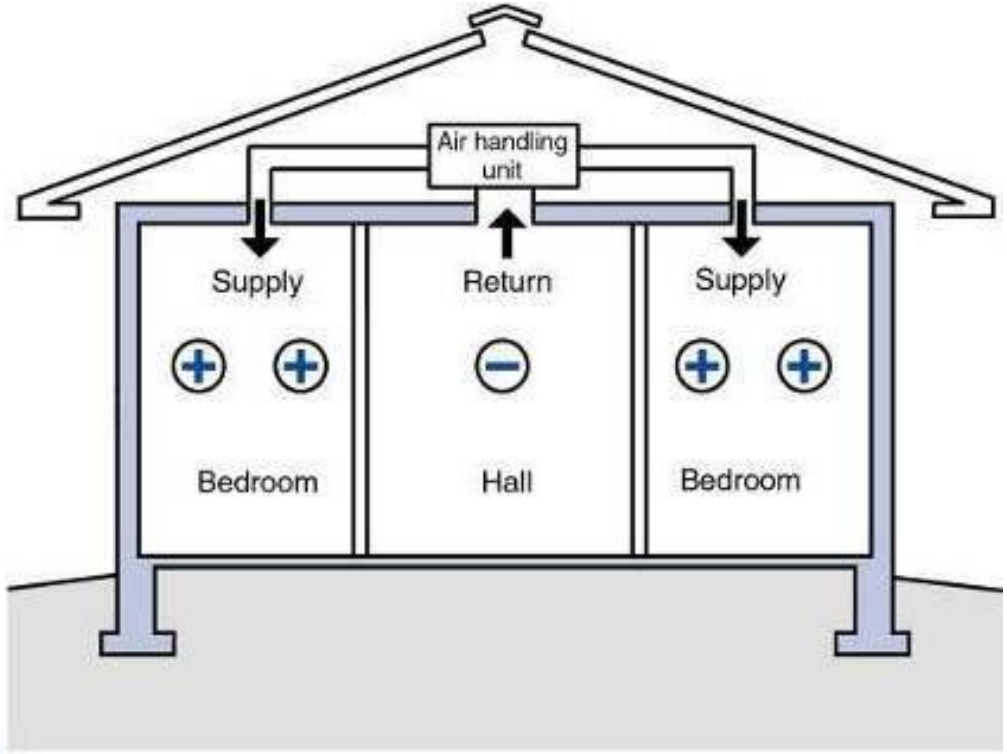


Source: EPA Indoor AirPlus

Control de acumulación – Ventilación y Presurización

Ventilación de Ingeniería Diseñada

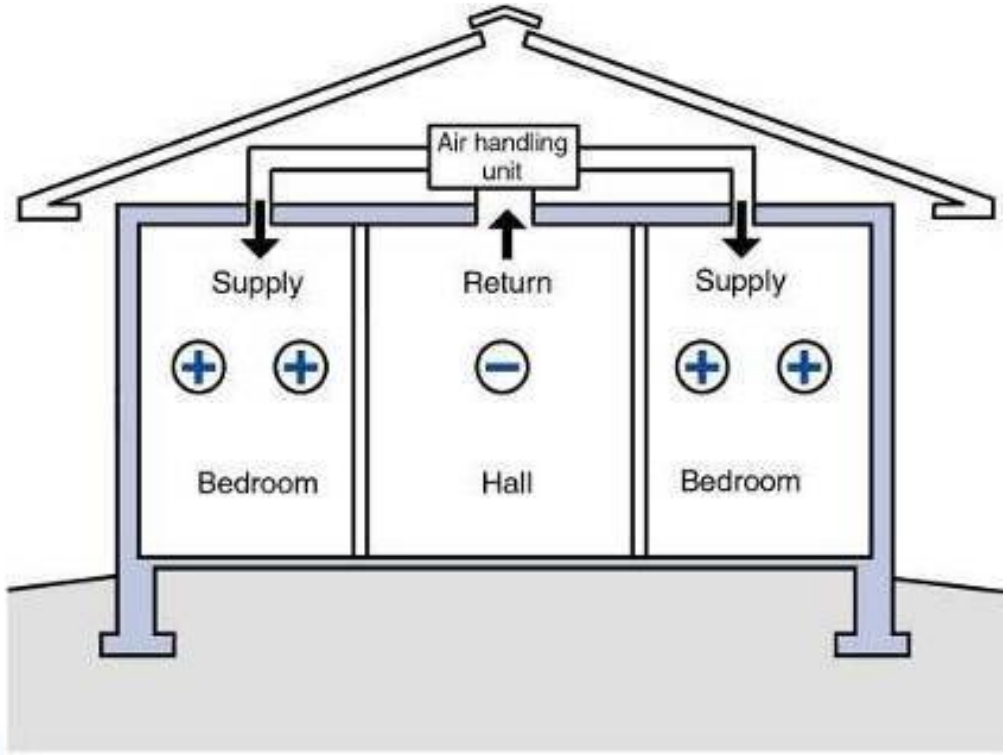
- Estos sistemas pueden incluir:
  - **Control de presión** de aire - la presión interior se elevada en relación con los niveles debajo de la losa
  - Ventilación: se puede mantener una **tasa de intercambio** de aire interior en cantidad suficiente para reducir el radón



Control de acumulación – Ventilación y Presurización

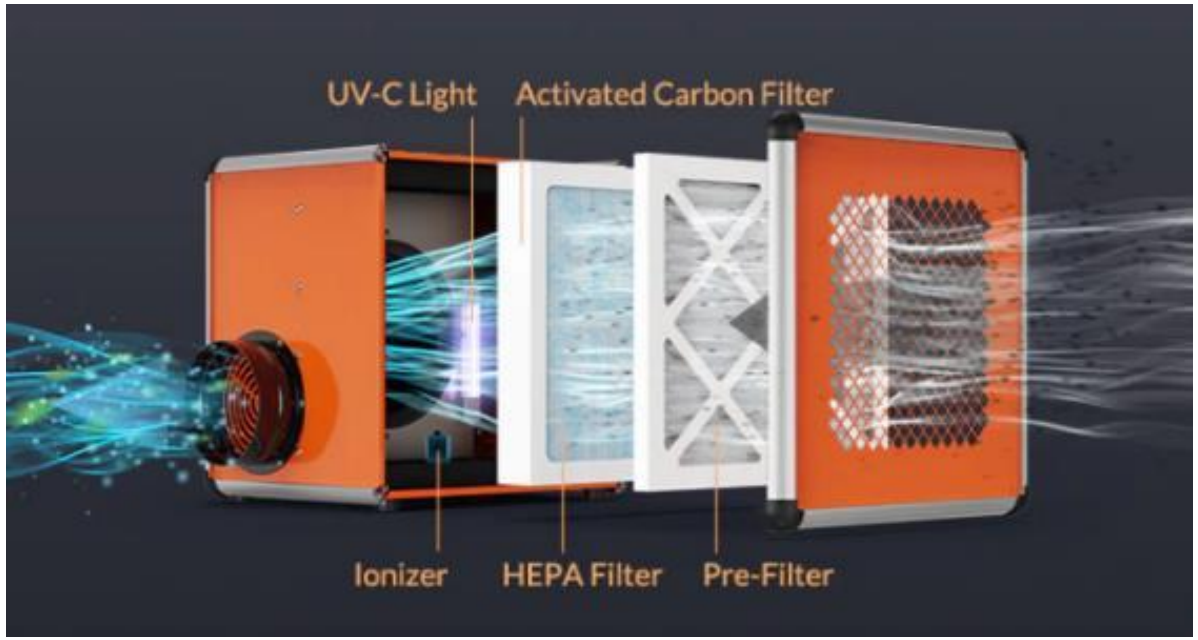
- El suministro de **aire** exterior **no acondicionado** puede tener un efecto perjudicial en el nivel de comodidad y el costo del funcionamiento de la casa

- La pérdida de energía asociada con la ventilación adicional se puede reducir utilizando un sistema de transferencia de calor
- No son rentables para reducir niveles de radón > 400 Bq/m^3



Control de acumulación – Ventilación y Presurización

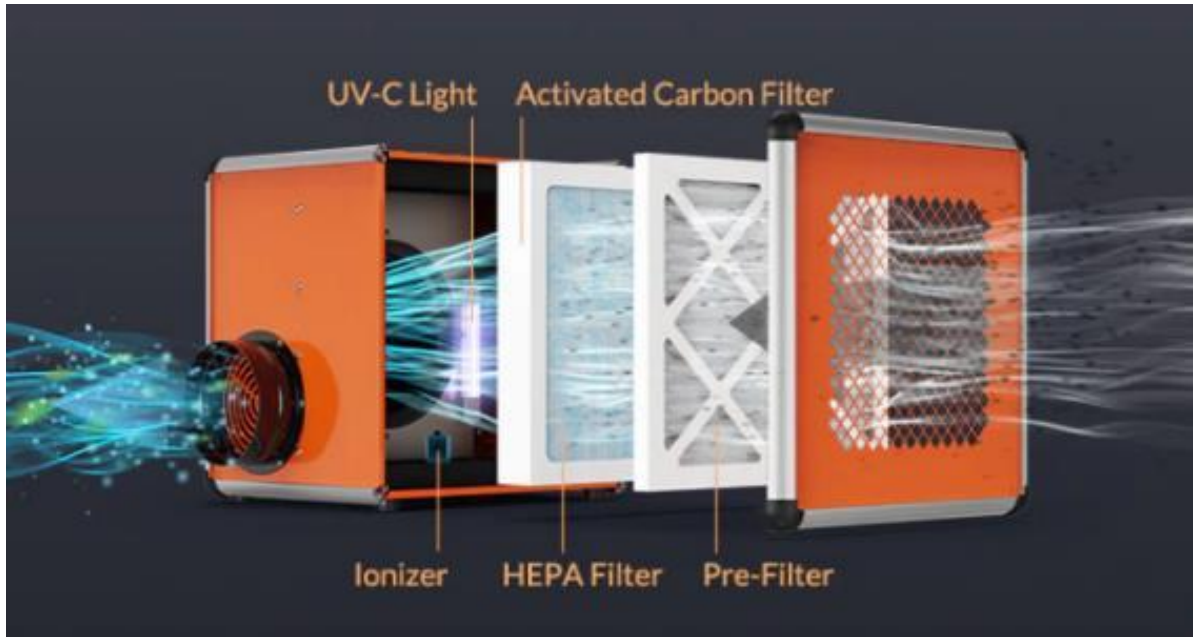
Componentes de ventilación de ingeniería diseñada



- **Purificadores** de aire para eliminar el radón y PDRs se han utilizado como técnicas de mitigación temporal o cuando otras técnicas no han sido adecuadas o eficaces
- Son unidades independientes o pueden incorporarse al equipo de tratamiento de aire (calefacción, ventilación y refrigeración)

Control de acumulación – Ventilación y Presurización

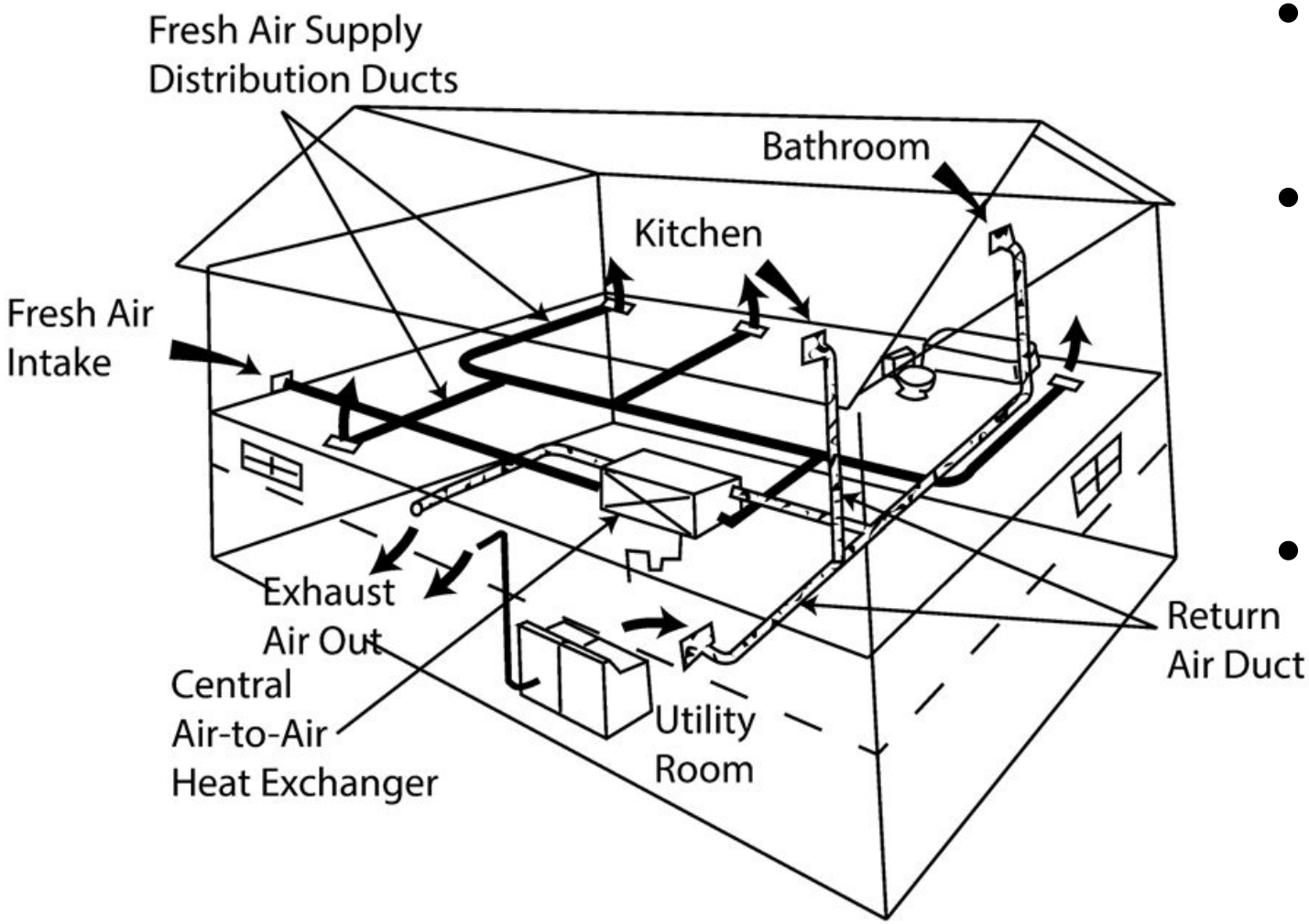
Componentes de ventilación de ingeniería diseñada



- Procesos mediante los cuales eliminan el radón o PDRs varian:
  - filtración con **paneles de alta eficiencia**,
  - lechos de filtración con **carbón**
  - precipitación **electrostática** de PDR
- Existe poca documentación sobre la eficacia de estos sistemas

Control de acumulación – Ventilación y Presurización

Componentes de ventilación de ingeniería diseñada



- Un flujo equilibrado reduce el radón mediante **dilución**
- Si se aumenta la ventilación a un **factor de 10**, el contaminante se **reduce** a **90%**
- Reduce la eficiencia energética

Control de acumulación – Ventilación y Presurización

Componentes de ventilación de ingeniería diseñada

- **Diseñado** por un contratista de **Aire Acondicionado** o un **Ingeniero**
- **Indicador de función** del sistema visual o audible
- Capaz de **mantener una humedad relativa baja <55% (¿por que?)**
- Revise los estándares de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado - **ASHRAE**



REGULADOR DE AIRE FRESCO



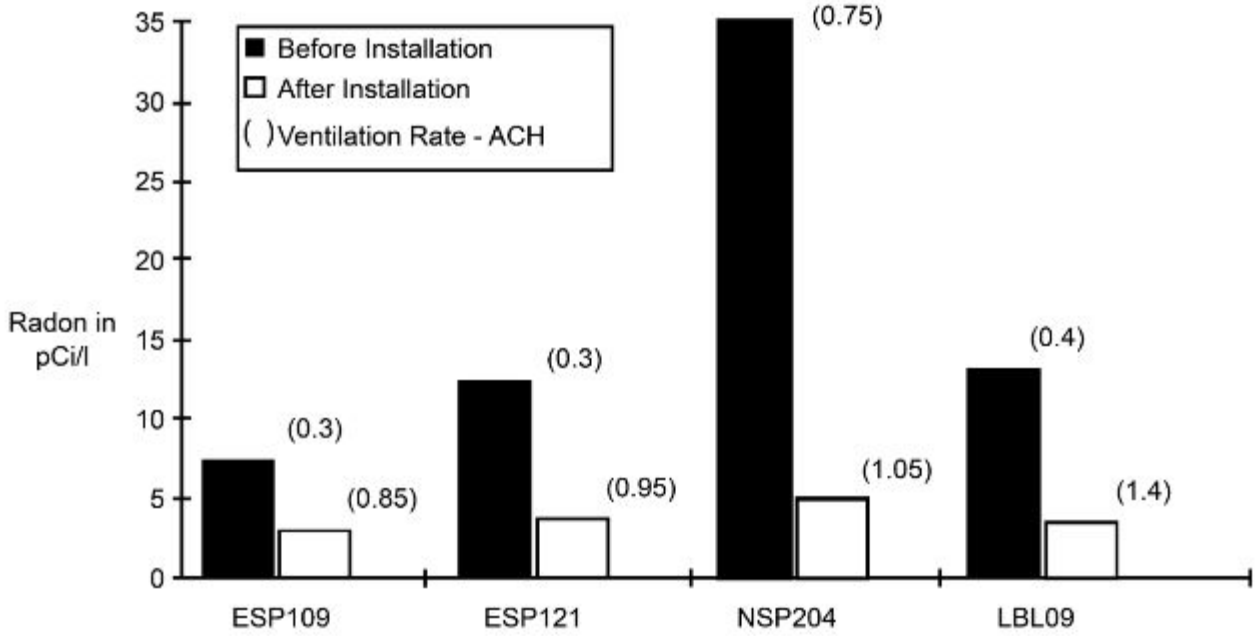
BALANCED VENTILATION & HRV/ERV's



Control de acumulación – Ventilación y Presurización

Componentes de ventilación de ingeniería diseñada

- Reducción general del 30-80% en las concentraciones de radón (ventiladores de recuperación de calor)
- Generalmente **no se recomienda** para > 370 Bq/m^3 (10 pCi/L) debido al costo energético



Radón en Rascacielos



- Edificios de 20-160 m
- Niveles elevados en el piso 30 - 150 Bq/m^3
  - Tienen estacionamientos debajo
  - Canales de utilidad conectan todos los pisos
  - Vigas de apoyo son perforadas (chimenea de entrada para el radón)
  - Herméticos

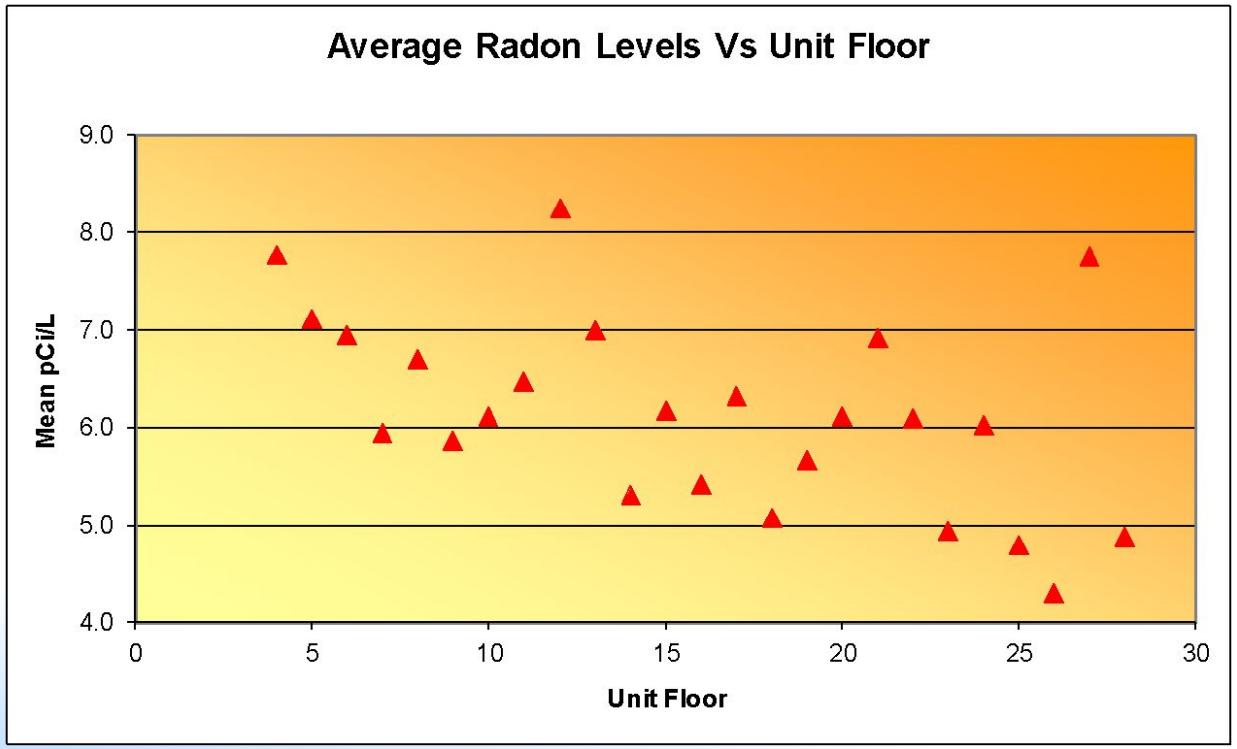
Radón en Rascacielos

- No aplican construcción resistente al radón
- Algunos de estos edificios tienen Tasas de ventilación deficientes – muy bajas
- Problemas de radón pueden ocurrir en cualquier piso de un edificio ya que el radón puede **emanar** de los materiales de construcción **más rápido** de lo que **pueda ser ventilado**



Radón en Rascacielos

- Niveles medios de radón en cada piso
  Promedio total de todos los pisos 260 Bq/m^3
- ¿Ves una tendencia?





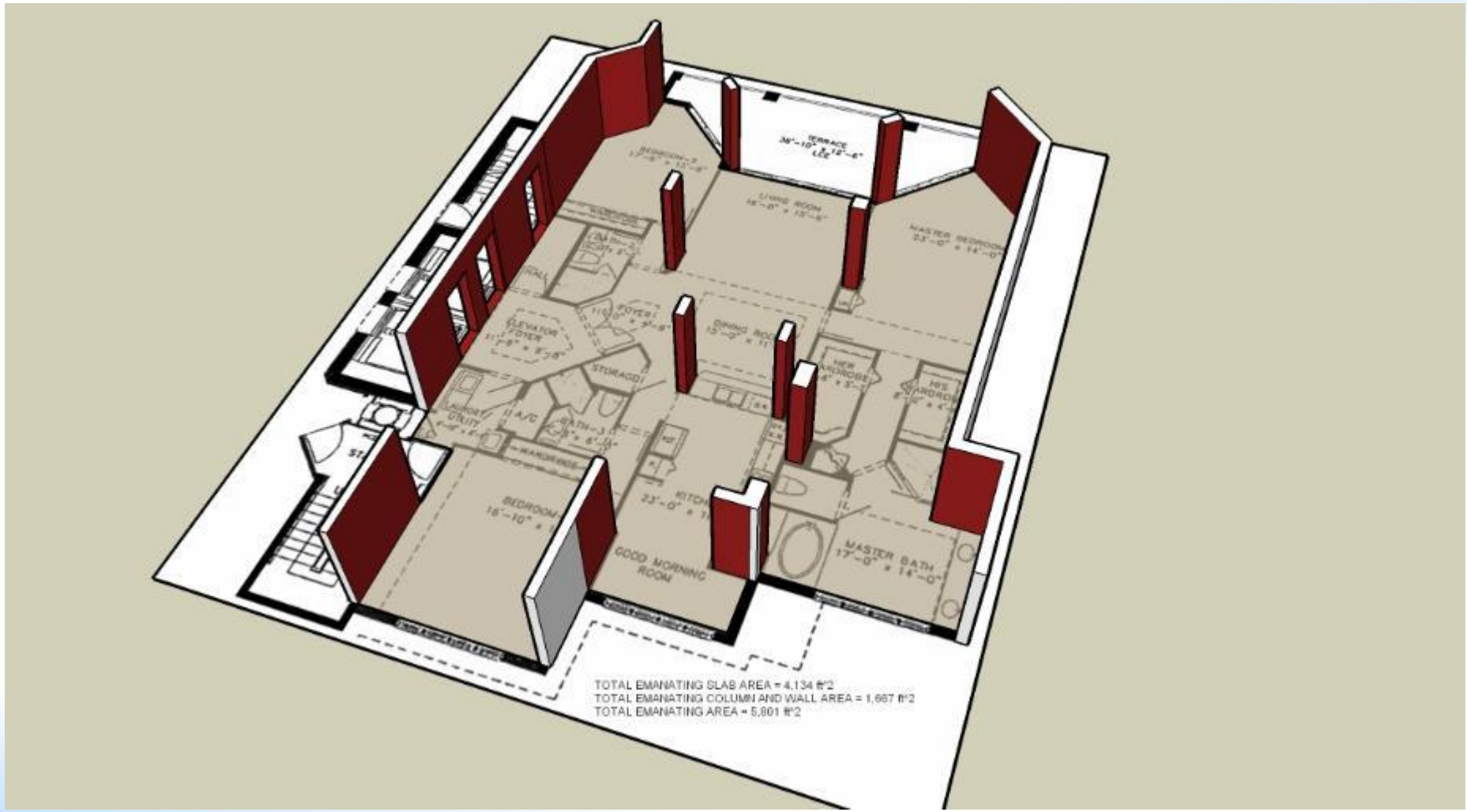
Brechas y Penetraciones en Edificios



- Espacio de aire del canal de basura
- Posible transferencia de radón y otros gases



Potenciales Áreas Emanantes





El área total se utiliza para calcular las tasas de emanación de radón

Muestra del Material

- Generalmente Radio en cemento (< 1 pCi/g) – mantiene niveles Rn bajo 148 Bq/m^3 (4 pCi/L) en el aire – emanación baja

- Contenido de radio triple (3.1 pCi/g) - indica que los materiales de construcción eran fuente significativa de Rn

		pCi/g ± 1σ Counting Error			
Lab #	Sample Type	Bi-214	Pb-214	Ra-226	Sum
104Z08	Core Sample	2.60 ± 0.05	2.85 ± 0.05	3.1 ± 0.2	8.55
105Z08	Stucco	0.53 ± 0.02	0.58 ± 0.03	0.9 ± 0.1	2.01



ASHRAE Estándares de Ventilación

Ventilación reduce el radón y otros vapores y mejora el aire interior

ASHRAE estándares

- Cada **persona** necesita **0.14 m^3/min** (**5 cfm**) de ventilación
- Cada **m^2** necesita **0.14 m^3/min** 0.06 cfm de ventilación para calidad de aire
- Para una casa de **110 m^2** (1,200 ft^2) con 3 ocupantes:
  - **Intercambios** por hora ACH de **0.43 m^3/min** si el cielo raso es de **3 metros**
  - **43% - 54%** del **aire total** del edificio debe **renovarse cada hora**
  - **Estos edificios eficientes** tenian intercambios de **ventilacion de 0.1 ACH**

Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado



Tasas de Ventilación y Concentración de Radón

- La **intensidad de la fuente de radón** es la variable primordial

- La **Tasas de ventilación** depende de las **diferencias de presión** producidas por:
  - Equipo de intercambio de calefacción Mecánicos
  - Diferenciales de Temperatura (efecto chimenea)
  - Viento, etc



- **Concentraciónes de radón son afectada por el intercambio de aire con el exterior**

Tasas de Ventilación y Concentración de Radón

- Las casas liquean aire

- **Casa de 30-100 años:** Área efectiva de fuga (Effective leakage area - ELA) 1-5 m^2 o más
- Tasa de infiltración promedia EEUU: **1-2.0** ACH – intecambio por hora o más

  - **Casas nuevas – VERDES - Energéticas**: ELA 0.1-0.2 m^2
    - Tasa de **infiltración promedia**: **0.1** ACH – **intecambio por hora**
    - **Afecta la salúd**

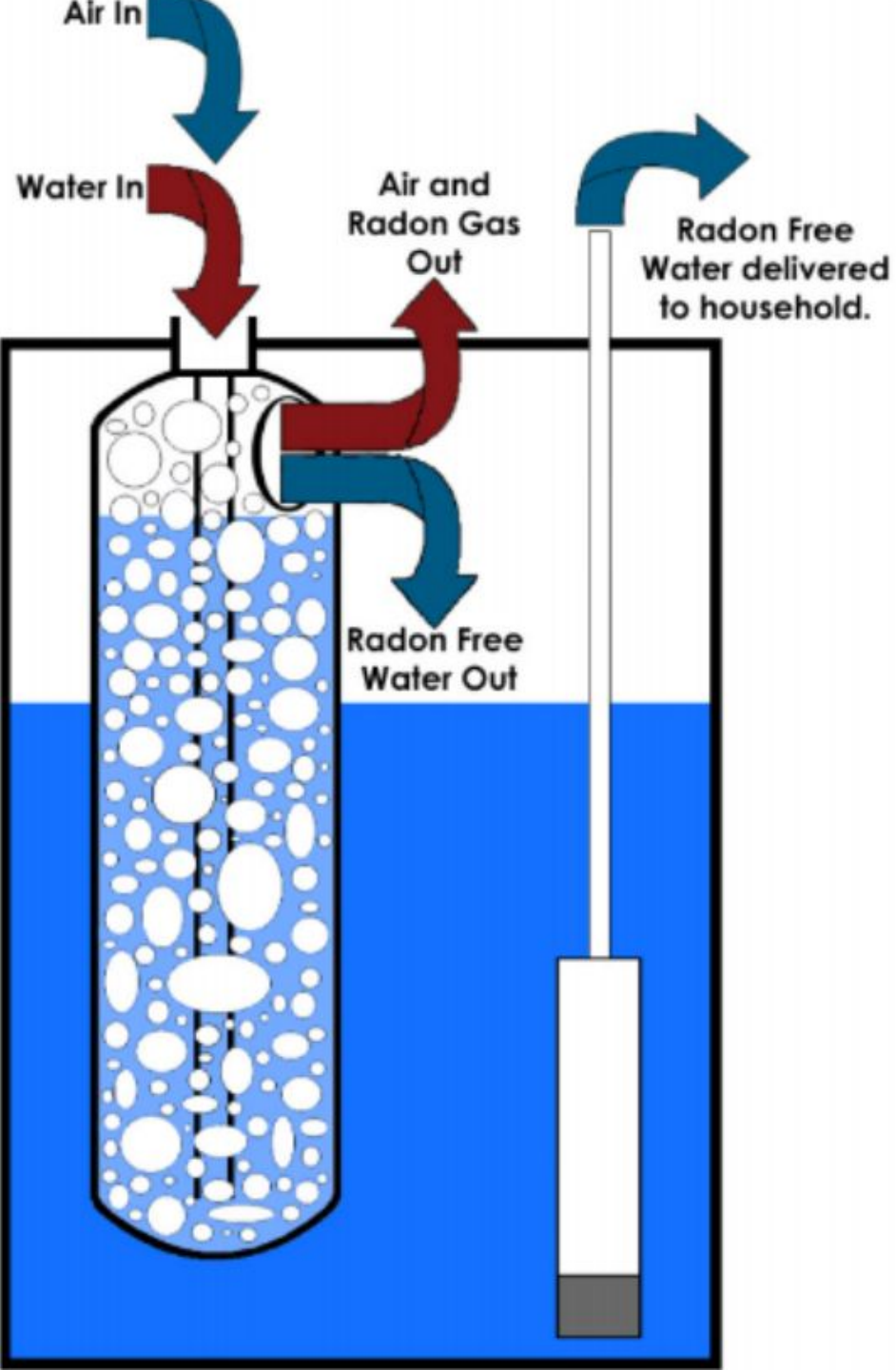


Tasa de Entrada y Concentración de Radón…

- **Concentración de radón** en un edificio está **relacionada con** la **tasa de entrada** y la **tasa de salida** de Rn por la **ventilación**

- **La Tasa de entrada** de radón es la **variable dominante** que **determina la concentración** de radón y depende de:
  - Concentración de la **fuente** de radón (más importante)
  - **Tasa de ventilación**
  - Dilución
    - Para reducir un condominio con altas concentraciones de radón, de **37000 Bq/m^3** a 150 Bq/m^3, hay que aumentar la tasa de renovación del aire de **0,75 ACH** a **187 ACH**. Esta tasa elevada seria ineficiente energéticamente y generaría problemas de humedad





Mitigación del Radón en el Agua

Objetivos

- Disminuir la concentración de radón en el interior
- Prevenir la entrada del gas del agua de poso (ducharse, lavar la ropa o usar lava platos)
- Estrategias de mitigación es salvar vidas y reducir la incidencia de cáncer de pulmón

Métodos de Eliminación del Radón

- Métodos de tratamiento del agua para eliminar el radón son en los puntos de entrada del agua
  - Decaimiento en almacenamiento
  - Gasificación (aireación)
  - Adsorción y decaimiento con carbón activado granular

Métodos de Aireación

- Almacenamiento
- Rociar
- Burbujas de difuso
- Columna de difuso
- Aireación superficial

Decaimiento durante almacenamiento

- Promedio - persona utiliza de **60-100 galones** de agua al día
- Para una familia de cuatro personas, esto equivale de **240-400 galones al día**
- En 27 días – 6,400-10,800 galones



- Permite que el radón decaiga en un tanque de agua antes de usarlo
- Ocurre en los depósitos de agua potable

Decaimiento Durante Almacenamiento…

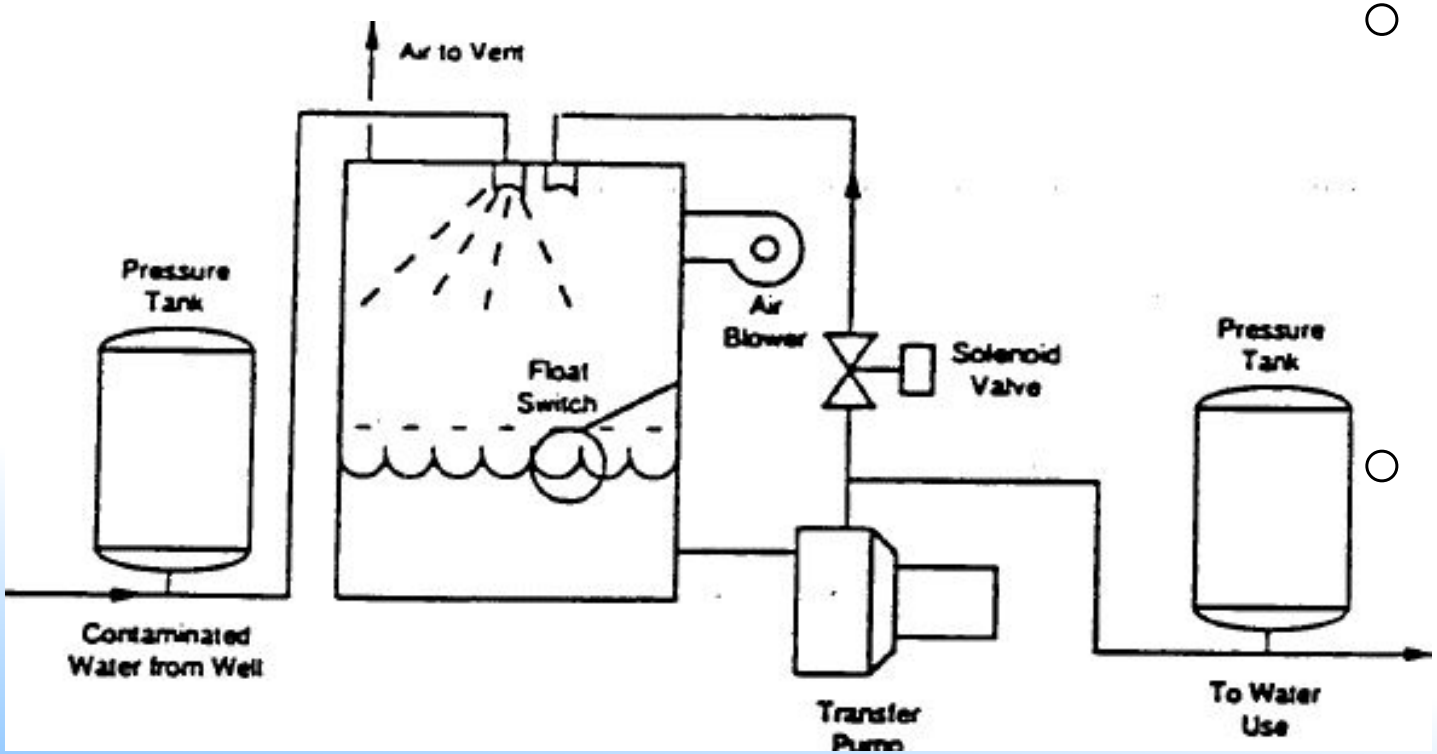
- Este método es poco práctico y costoso (tanque de 10,000 galones de almacenamiento)



- Como el radón tiene una vida media de 3,8 días, el 99% del radón desaparecerá después de 27 días

Aireación por Rocio

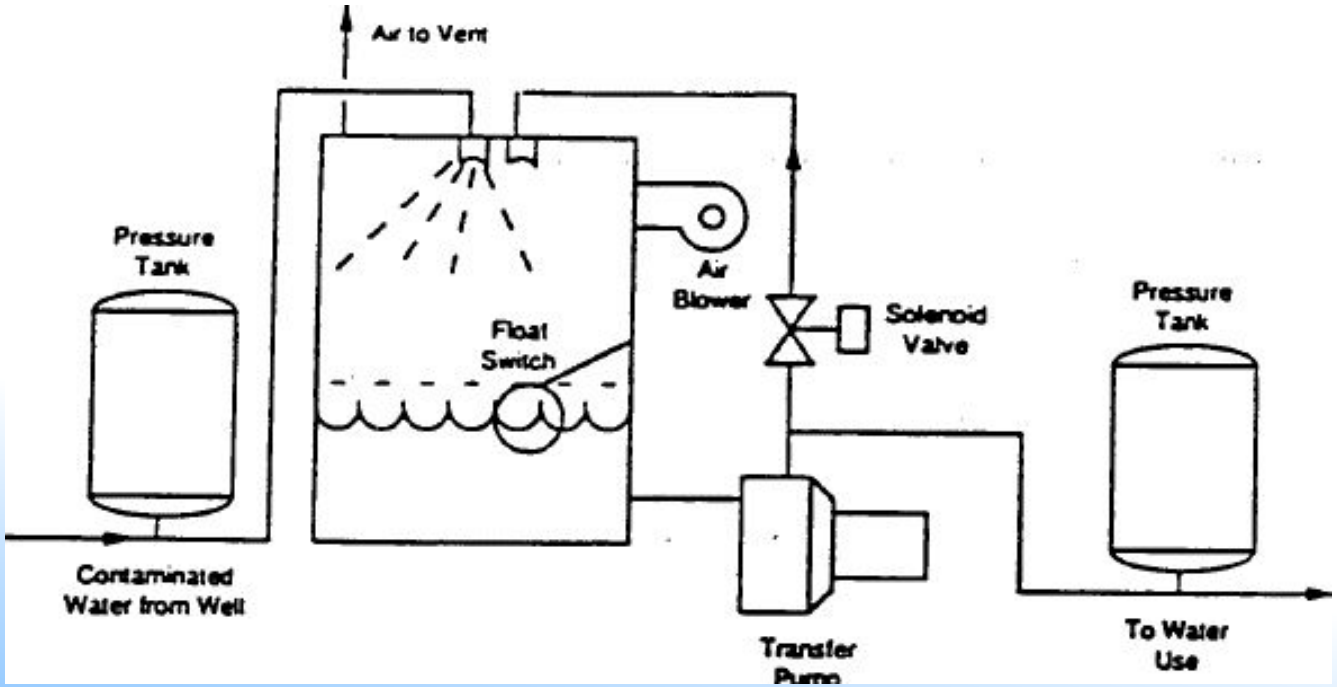
- **Rociar** el agua dentro del tanque hace que los gases se desorban a la atmósfera por un tubo de escape
  - Al rocíar del agua genera mas superficie en ella de la cual el radón se volatiliza



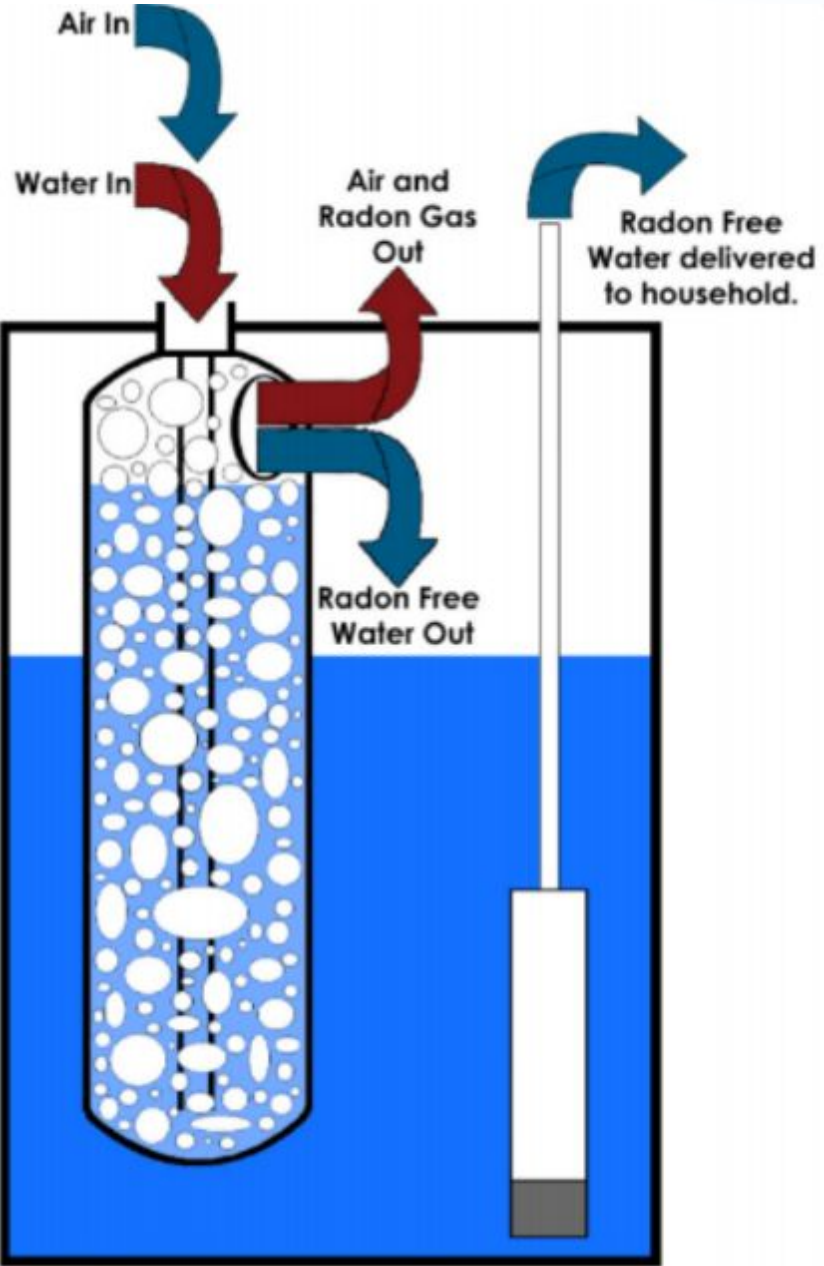
- Use un pequeño soplador de aire para pasar una pequeña cantidad de aire a través del equipo. Esto saca el radón del tanque y lo ventila fuera de la casa.
- Puede eliminar 50-60% del radón

Aireación por Rocio

- Sistema de tratamiento altamente eficiente
- Para mejores resultados, rocie el agua continuamente
- El agua debe bombearse a uno o mas tanques de depósito $\geq$ 100 galones



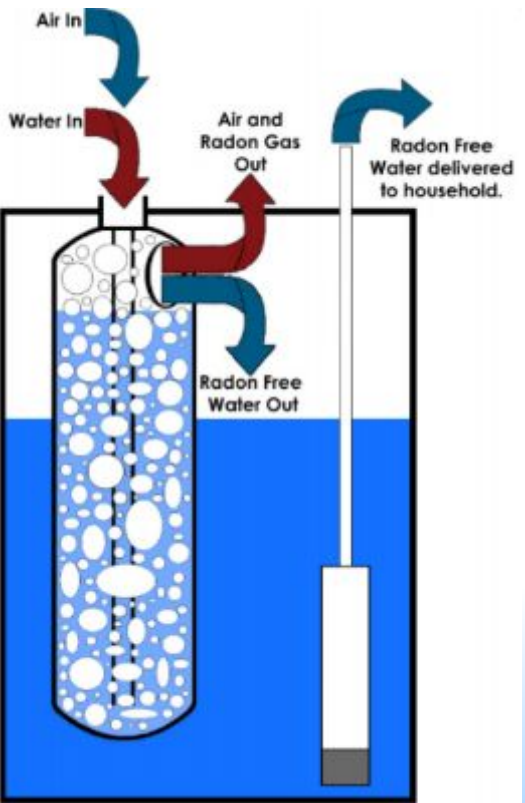
Burbujas de difusión



- Aireación de burbujas de difusión
- La reserva de agua y se inyecta con aire por debajo y asi burbujear a través del agua liberando el radón
- Requieren 2-6 tanques en serie para lograr una eficiencia > 99%
- Una bomba de presión se usa de tal manera que el agua puede ser repartida por toda la casa

Burbujas de difusión

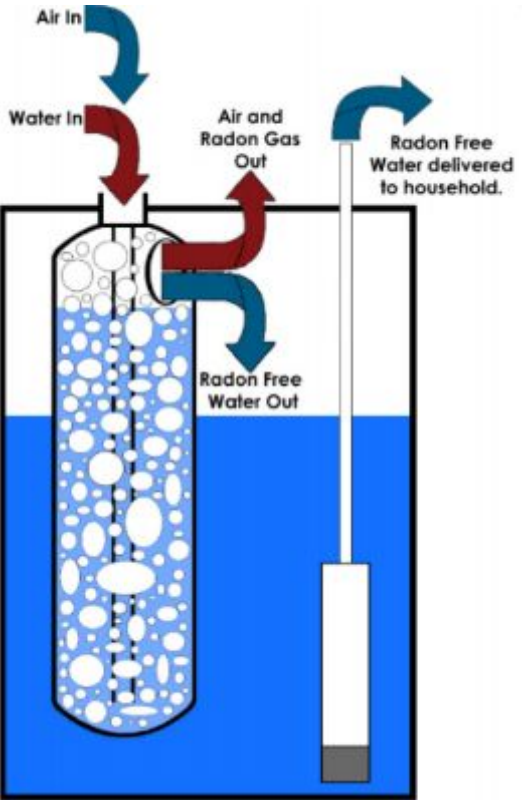
- El agua del pozo se rocía en el primero de los dos o más tanques de aireación



- Un soplador de alta presión impulsa el aire en el fondo de estos tanques a través de difusores de burbuja ubicados en la parte inferior de cada tanque
- A medida que las burbujas de aire se elevan a través del agua, el radón se volatiliza en las burbujas de aire - volatilización del radón

Burbujas de difusión

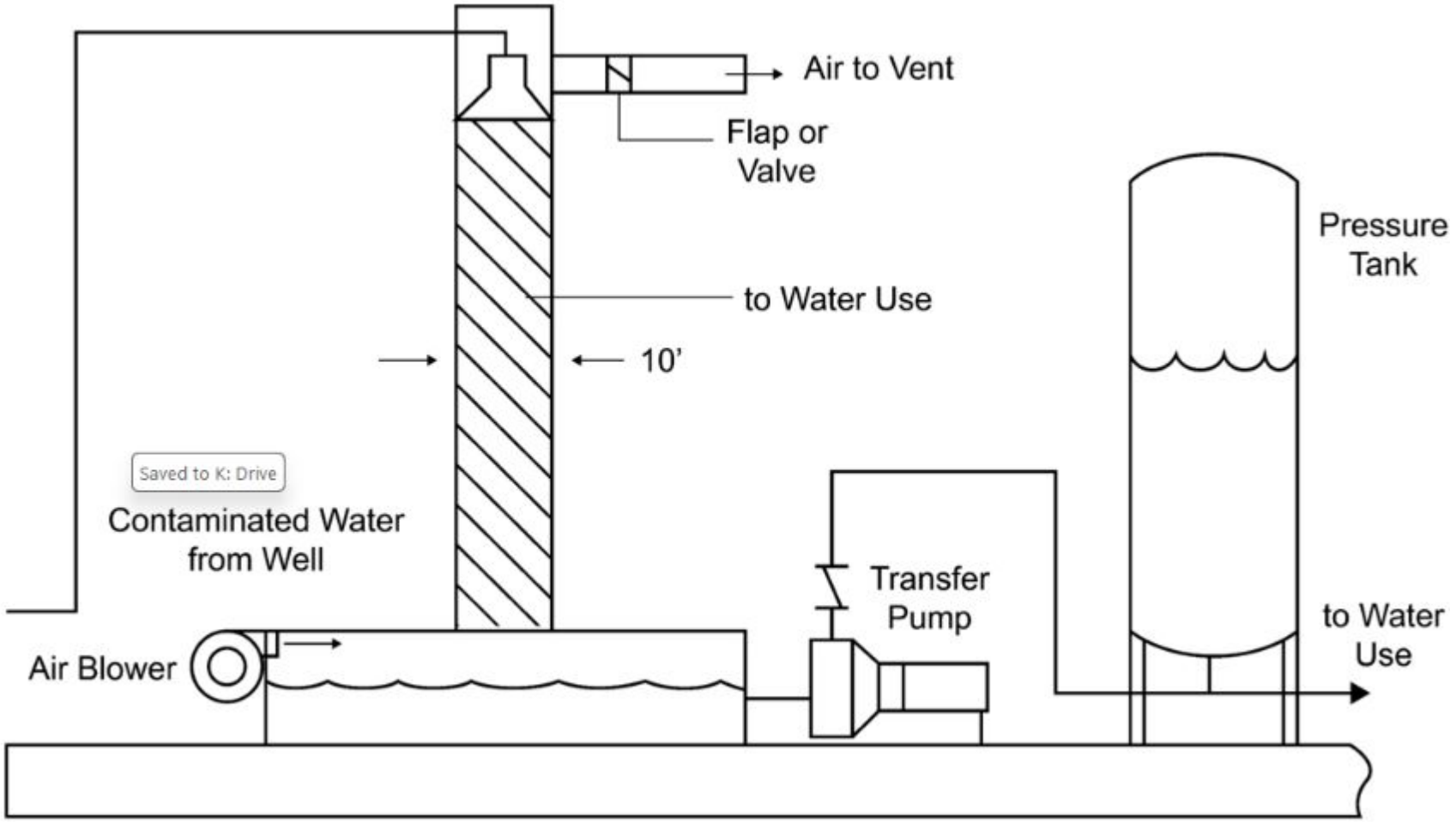
- Para mejorar la eficiencia:
  - Aumente la tasa de flujo de aire y el tamaño del difusor para obtener más burbujas



  - Aumente el tiempo de residencia del agua en los tanques
- Hay desventajas en este sistema
  - Se requiere un ventilador de presión relativamente alta (25-35 columnas de agua de presión)
  - Los orificios de aire en el difusor pueden taparse (0,025”)
  - agua tratada debe ser re-presurizada para uso doméstico

Columna de difusión

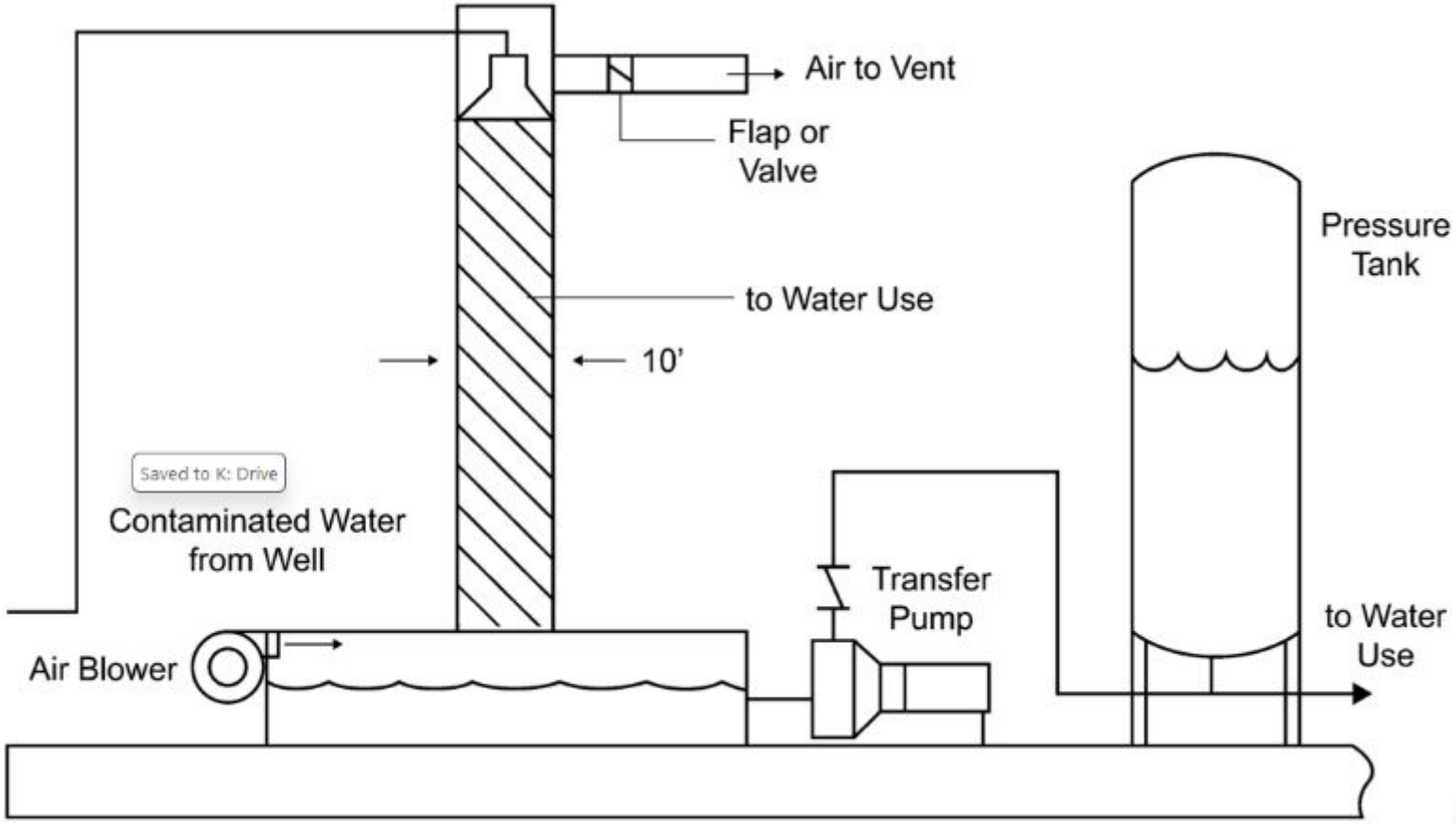
- Agua pasa a través de columna llena de laminas anguladas



- El empaque aumenta la superficie para la **desgasificación**
- Simultáneamente, se sopla aire en la parte inferior de la columna para sacar el radón

Columna de difusión

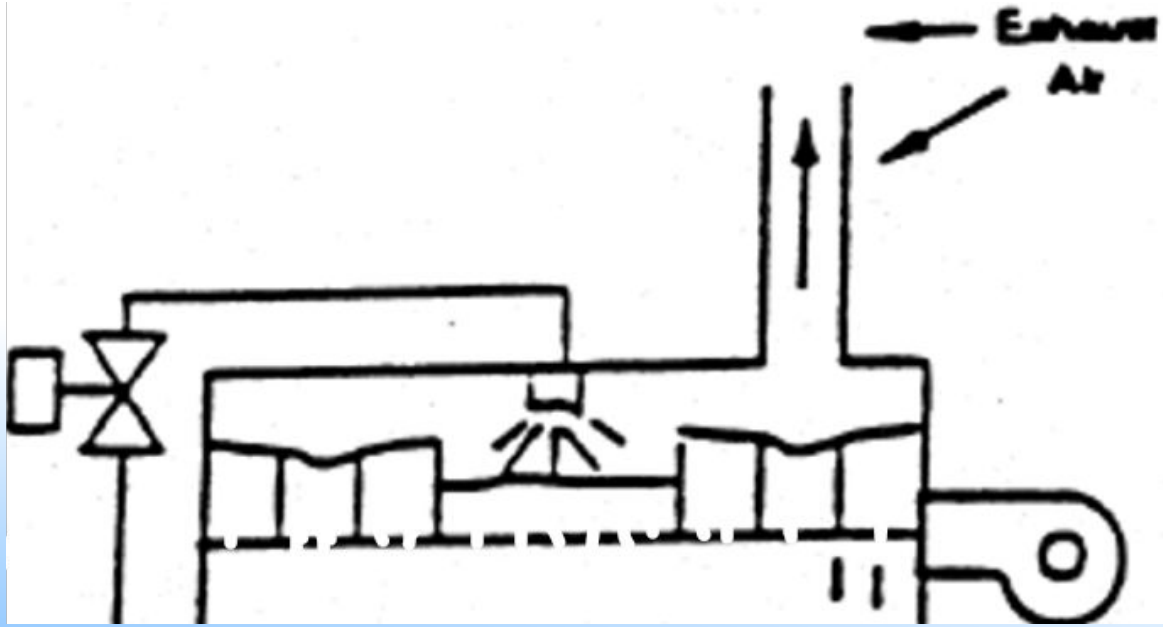
- Eliminan productos orgánicos volátiles de los suministros de aguas subterráneas contaminadas

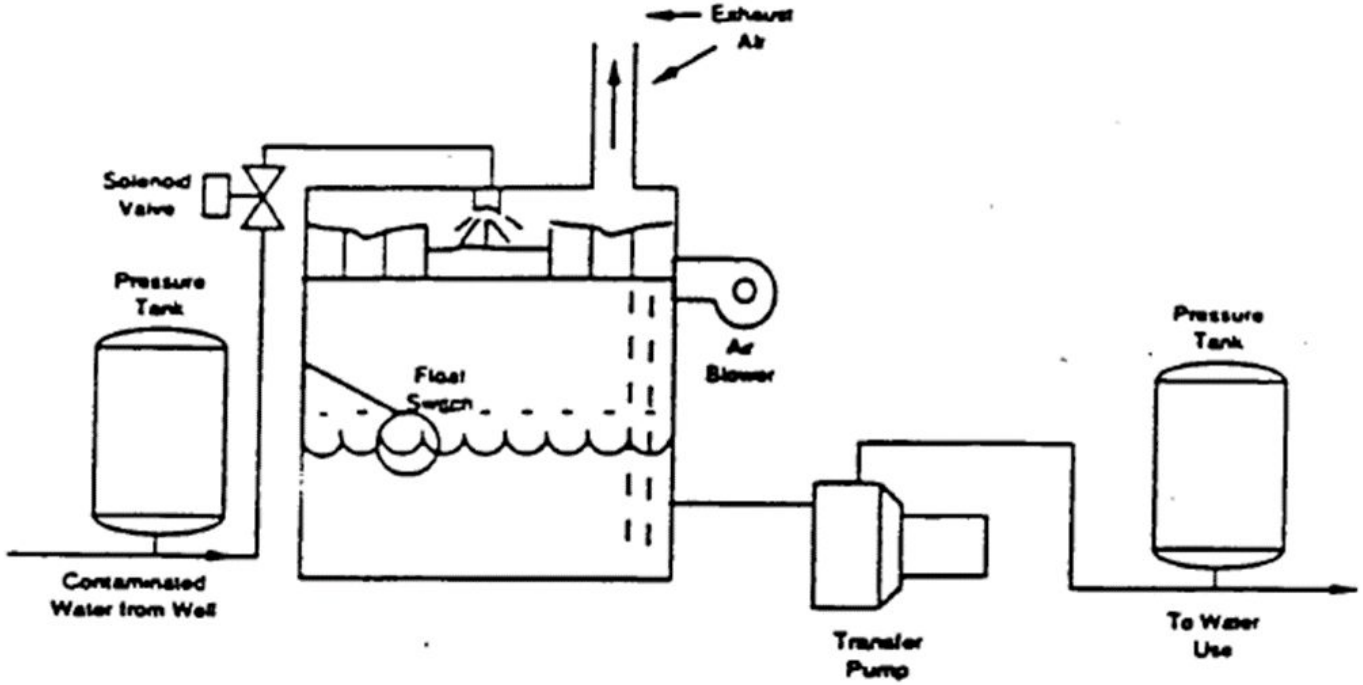


- Aproximadamente 90 -95% eficientes
- Profundidad máxima de empaquetamiento práctica es de 1.83 metros
- Práctica para niveles bajos de radón en agua < 740.000 Bq/L
- Necesitamos 1.5 millones Bq/L el el agua para producir 150 Bq/m3 en el aire

Aireación superficial

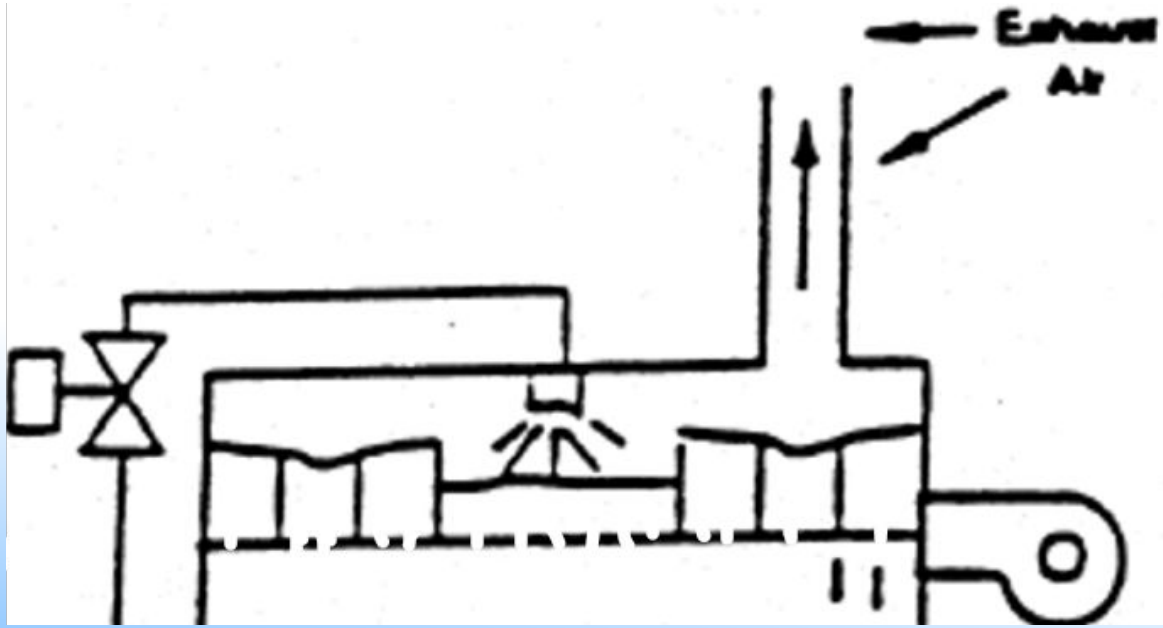
- Agua pasa sobre una **placa perforada** dentro de un tanque donde se sopla aire
  - utiliza un diseño de bandeja de aireación superficial extendida horizontalmente - Más pequeño que los otros
  - Menos costoso

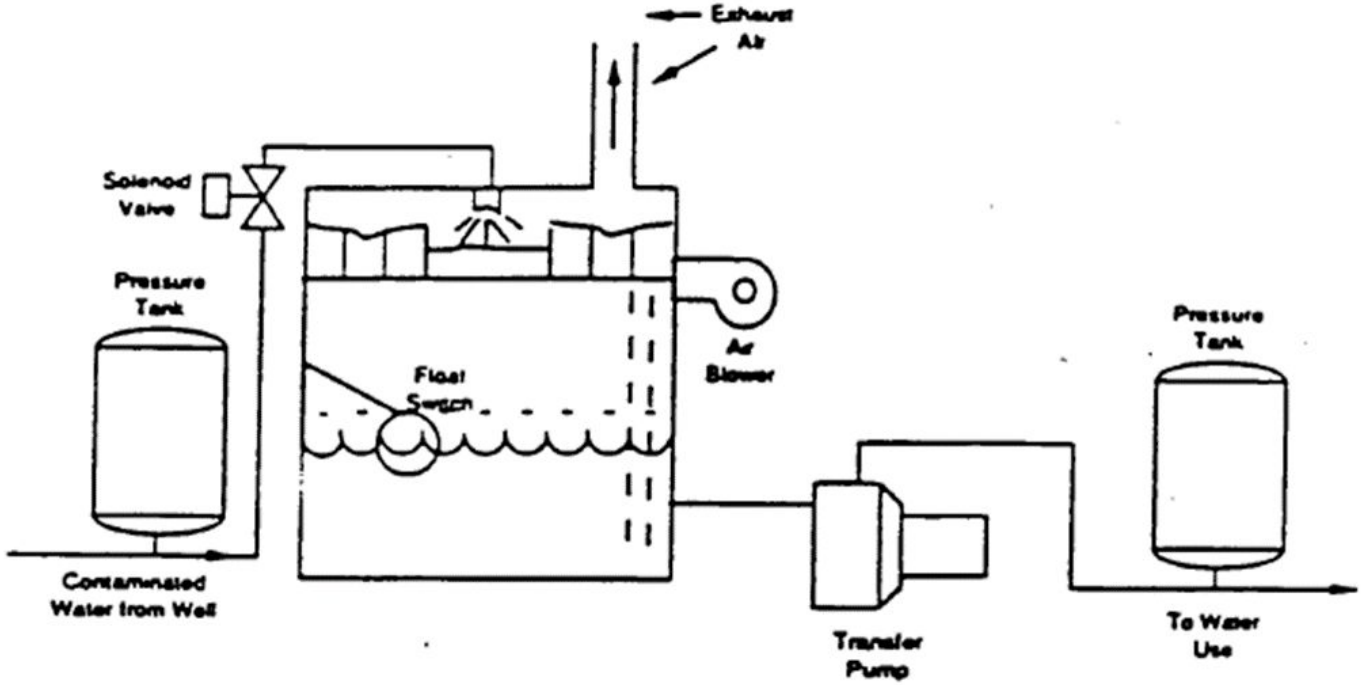




Aireación superficial

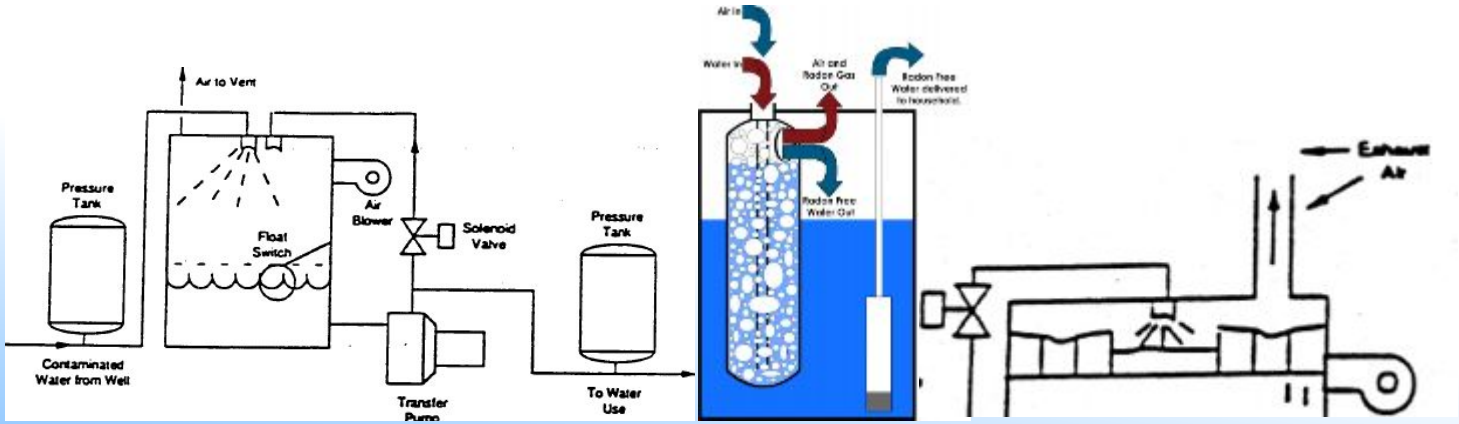
- agujeros en la bandeja de aireación son grandes (3/16” o 4,8 mm)
- posible desventaja de este sistema es que utiliza aproximadamente 100 CFM (pies cúbicos por minuto) de aire, mientras que los sistemas anteriores usan entre 10 y 50 CFM





Consideraciones de Instalación de Métodos de Aireación

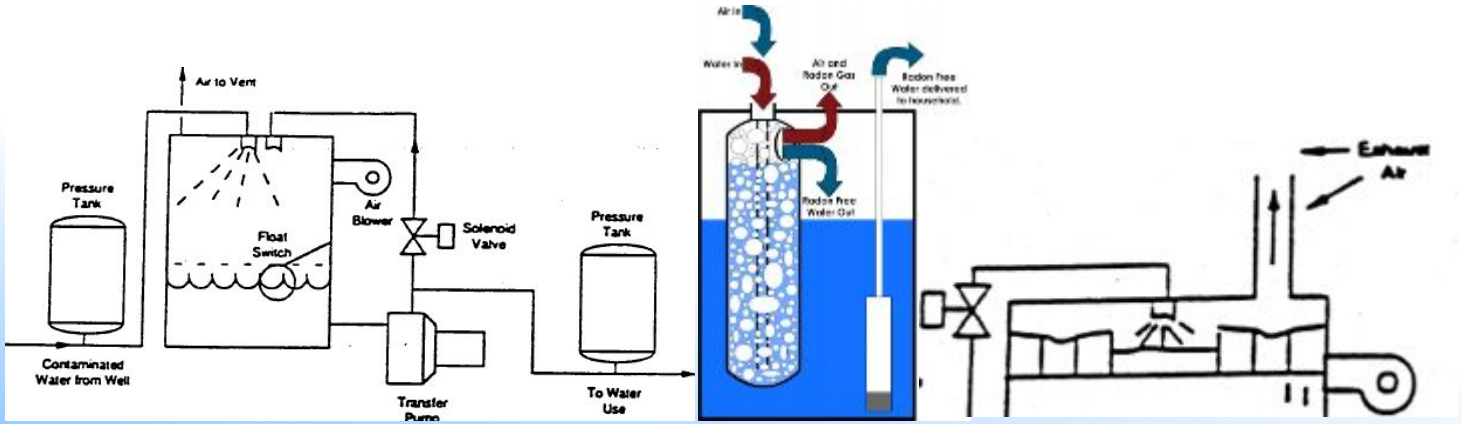
- Suministro de aire
- Puntos de descarga
- Tubería de descarga



- Crecimiento de microbios y contaminación
- calcificación y crecimiento de alga
- Eficiencias de reducción del radón

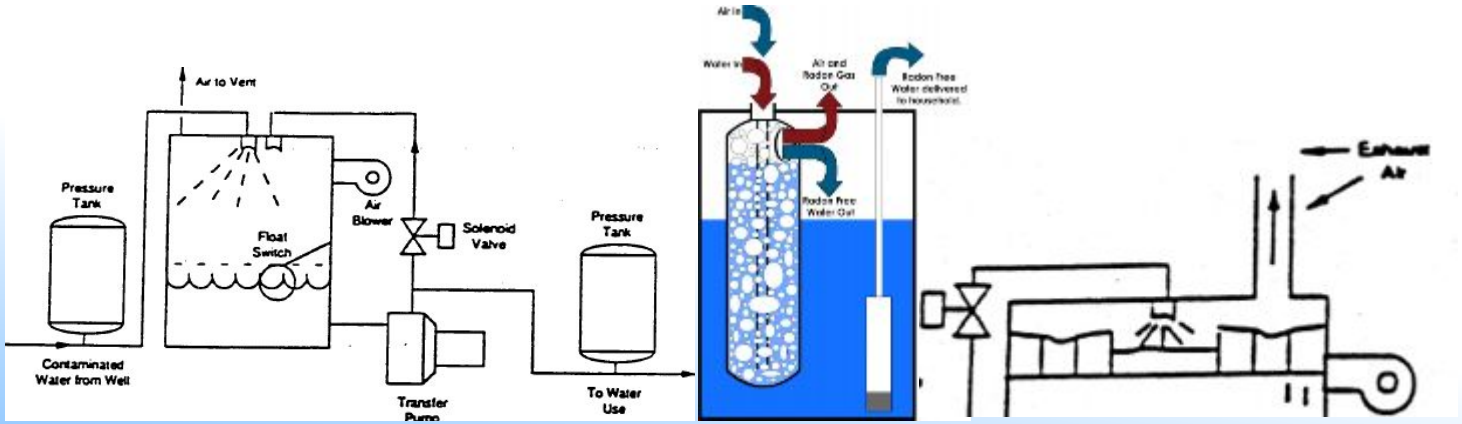
Consideraciones de Instalación de Métodos de Aireación

- Planifique la ubicación del punto de descarga (reentrada Rn)
  - Cumpla con todas las distancias de separación y ubicación especificados en las normas de mitigación de radón de la EPA
  - El aire que sale de las unidades de aireación estará al 100% de humedad y habrá condensación en la tubería
  - Áreas frías insolación de la tubería reducirá potencial a congelación



Consideraciones de Instalación de Métodos de Aireación

- Durante períodos largos sin uso de agua (vacaciones), el agua en el tanque puede estancarse y permitir que bacterias se multipliquen
- Por esta razón, se necesita mantenimiento y tratamiento de estos sistemas por el propietario



Agua Alcalina

- Cuando el aire pasa a través de los sistemas de aireación, parte del agua se evaporará y deja sólidos disueltos en el sistema, causando obstrucción
- Sal de calcio y magnesio típicamente causan problemas de "dureza" en los sistemas de agua



Crecimiento Biológico

- Crecimiento de algas y bacterias puede ocurrir
- Mantenimiento y limpieza rutina se requiere para evitar su acumulación - bio-incrustación en las superficies del sistema

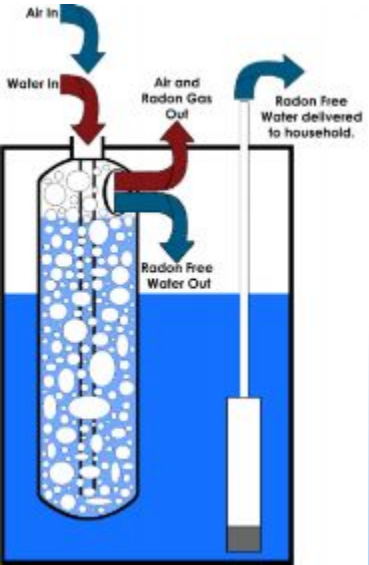




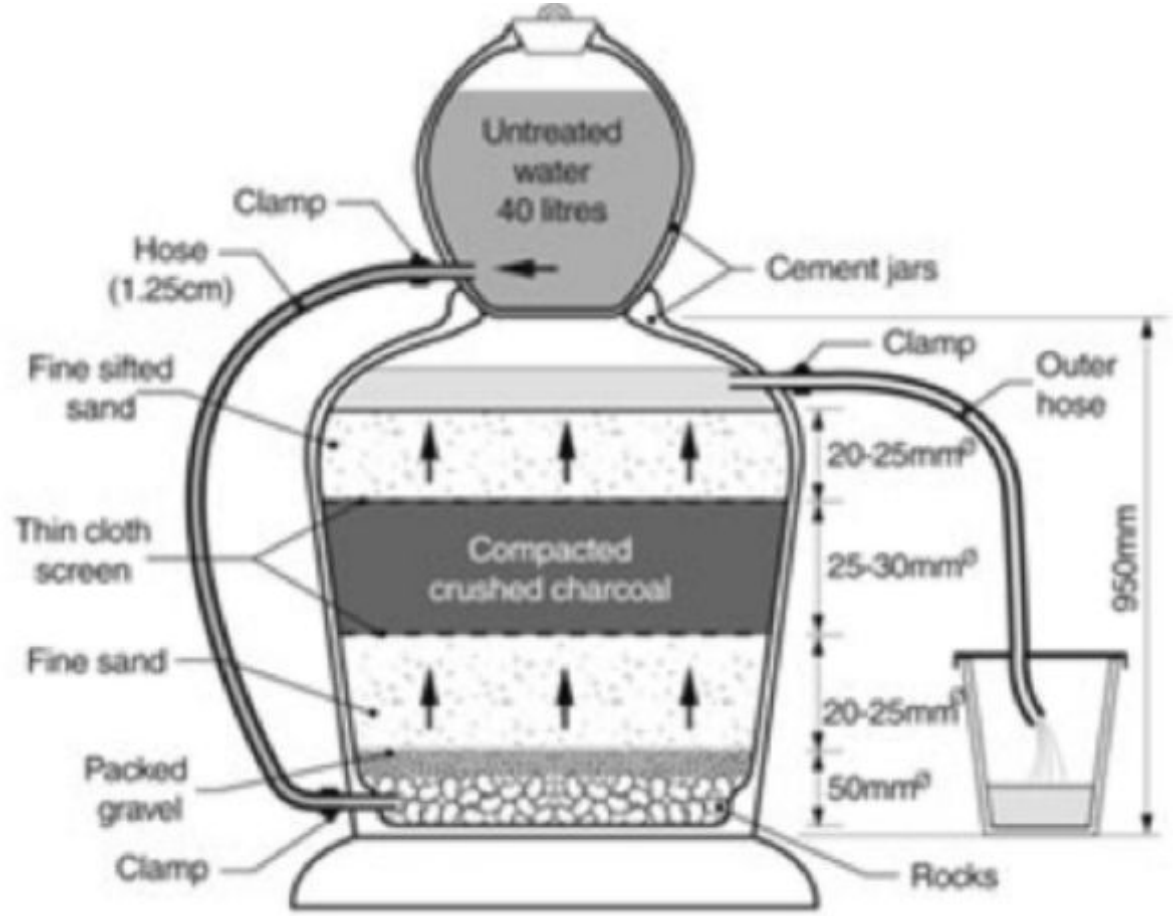


Conclusiones sobre sistemas de reducción de radón en agua

- Sistemas son 95-99% efectivos
- Columna de Difuso empacadas pueden alcanzar este nivel de eficiencia, pero con limitaciones de altura (6 pies)
  - Columna de Difuso son bien eficiente para el suministro de agua a comunidades pequeñas

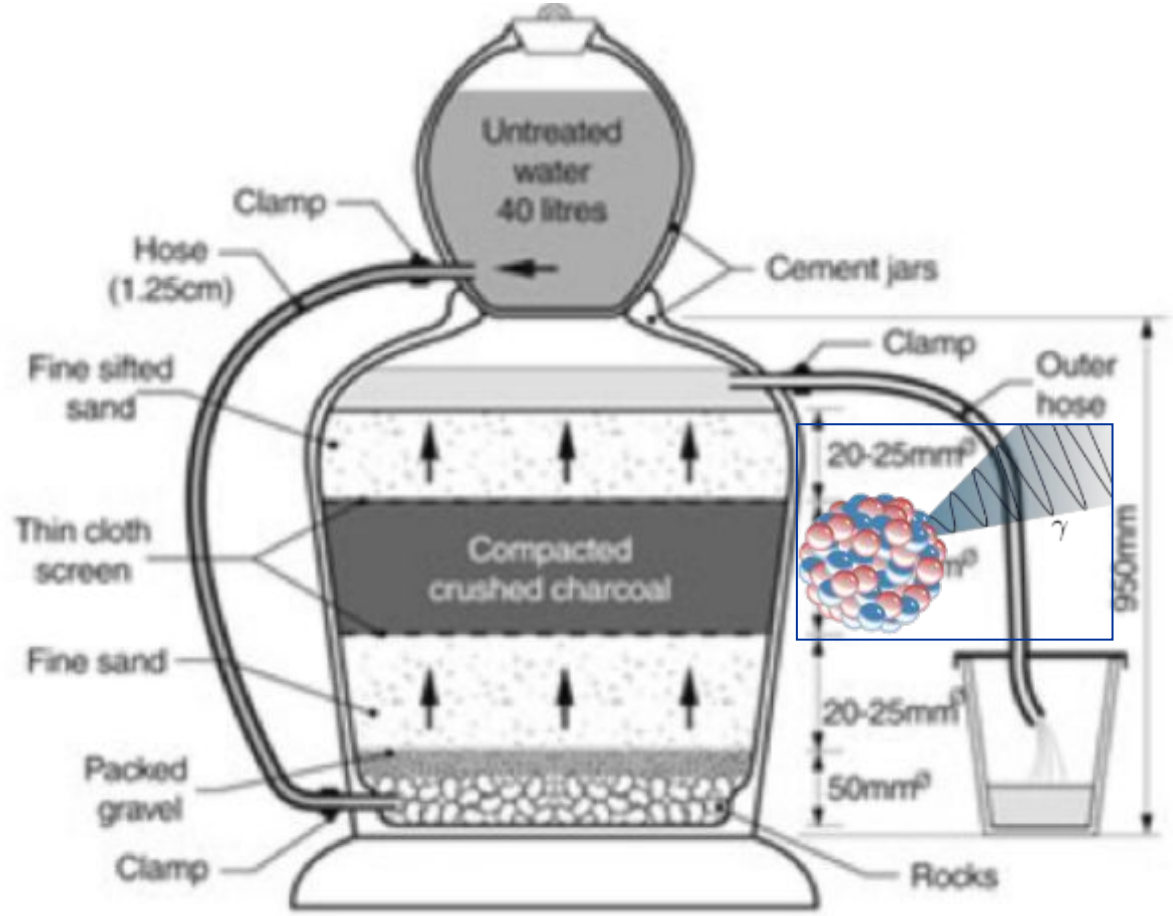


Carbón Activado Granular (CA)



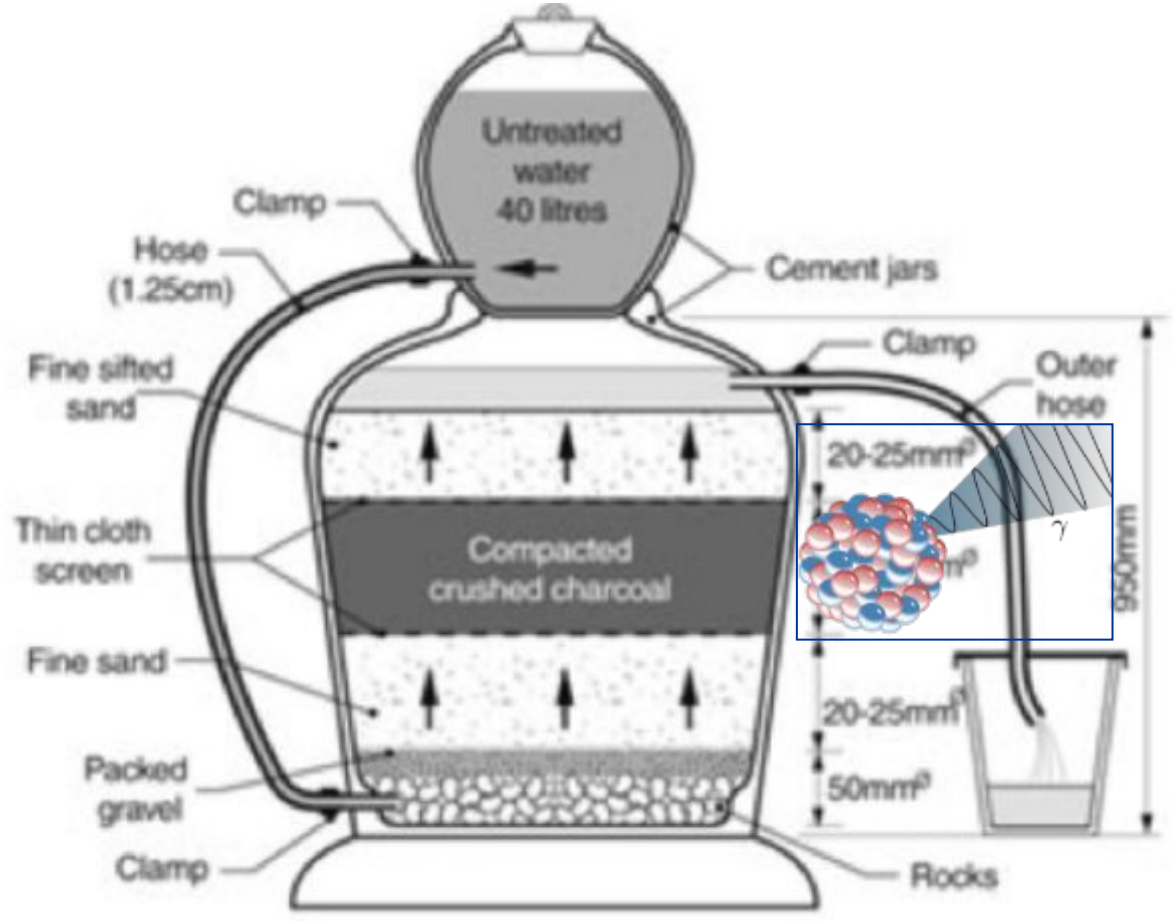
- A medida que el agua pasa a través de un lecho de carbón activado, el radón se **adsorbe** en el carbón
- El radón queda y continua su cadena de desintegración
- El radón y PDRs quedan atrapados en el lecho de carbón

Carbón Activado Granular (CA)



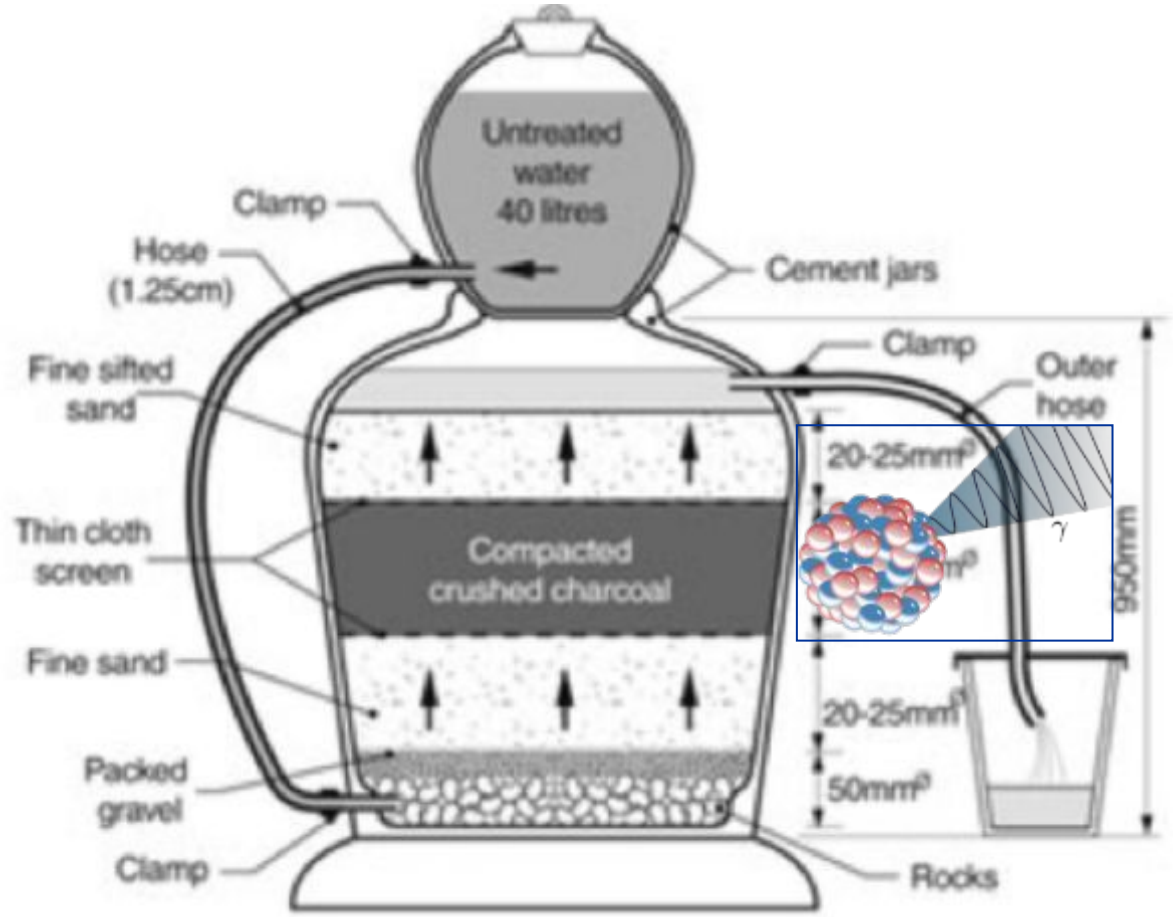
- Carbón se satura con contaminantes antes que saturarse con radón and PDR
- La cama de carbón está dentro de tanques a presión para suministrar agua a la casa
- Desventaja es la **radiación gamma** atrapada en la cama de carbón por la desintegración radioactiva del radón y PDRs

Carbón Activado Granular (CA)



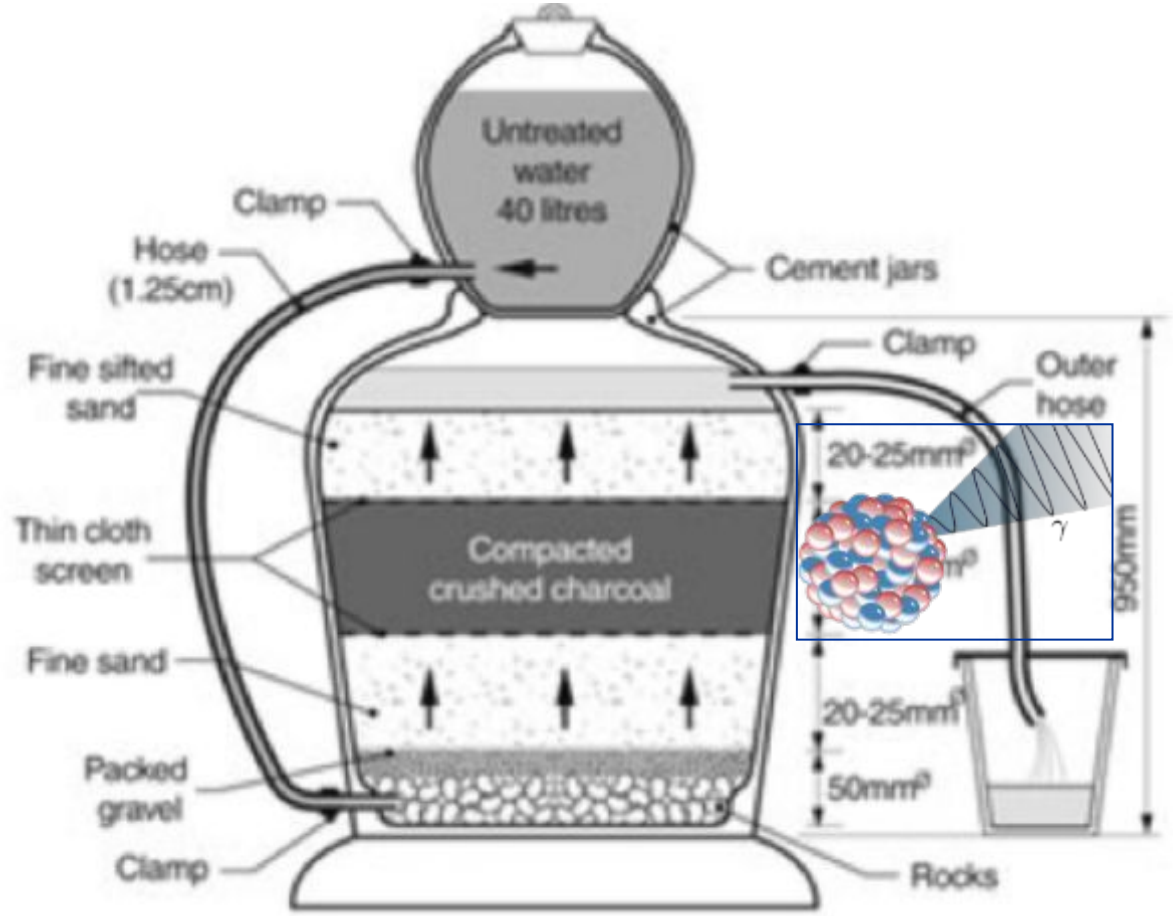
- Después de ~ **22 días**, el Pb210 (vida media - 21 años), el Bi210 ($t^{1/2}$- 5 días) y el Po210 ($t^{1/2}$- 138 días) se acumulan
- Nivel máximo de gamma - función de la concentración de radón en el agua
- Relación para estimar este nivel es un **1 mSv/hr** en la superficie del tanque por cada 370.000 Bq/L de radón en agua

Carbón Activado Granular (CA)



- Contaminación gamma máxima en la superficie del tanque (tiempo, distancia, protección)
- Si el tanque no esta en áreas ocupadas, no se requiere protección hasta que el nivel de radón en el suministro de agua sea mayor a 3.7 millones de Bq/L
- En áreas ocupadas, se requiere protección si el nivel de Rn en el agua > 777.000 Bq/L

Carbón Activado Granular (CA)



- Radiación del tanque es 2 mSv/hr, se requiere que este cubierto con plomo
- Water-Shielding es más efectivo y económico que otras formas de protección
- El tanque se puede enterrar afuera del hogar

Carbón Activado vs Aireación

- Deben considerarse los requisitos de **protección** del CA, los requisitos de licencia para la **eliminación** de tanques de CA, el filtrado del **aire entrante** al agua y la **ventilación** del radón
  - Pueden eliminar 99% del radón
- La **aireación** es la alternativa **preferida** para la eliminación de radón en el suministro de agua tanto público como privado
  - Los sistemas de aireación eliminan el radón a niveles deseados sin los inconvenientes de emisión gamma y eliminación de tanques de CA saturados con contaminantes radiactivos

Ventajas y Desventajas de los Sistemas de Aireación

VENTAJAS

- El radón se elimina antes de que el agua se distribuida por la casa
- Sin acumulación radioactiva
- Sin residuos radioactivos
- Sin preocupación de emisión gamma

DESVENTAJAS

- Mecánicamente complejo, Requiere mantenimiento
- Proteja la calidad del aire
- El aire de descarga debe ser ventilado adecuadamente
- Requiere re-presurización
- El crecimiento microbiológico puede ocurrir
- Dureza del agua se acumula

Ventajas y Desventajas del Carbón Activado

VENTAJAS

- Elimina el radón antes de la distribución a la casa
- Mejora el sabor y color del agua
- Menos costoso que aireación
- Simple de instalar y mantener
- No requiere represurización

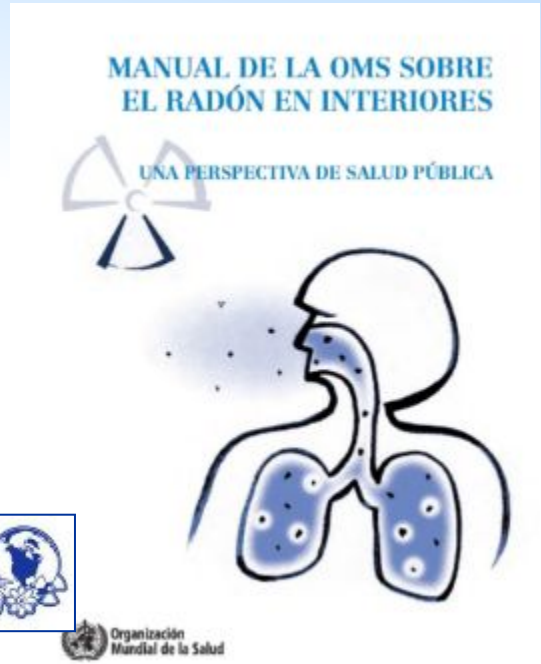
DESVENTAJAS

- Se llena de contaminantes del agua a menos que esté prefiltrada
- No hay medios aprobados para disposición del carbón
- Emisiones gamma pueden ser significativos y la proteccion costosa

Conclusiones - mitigación del radón

- Prueba del radón es el primer paso
- Métodos de mitigación varían y ofrecen beneficios inmediatos
- Sistemas pueden reducir los niveles de radón en el hogar hasta un 99%
- Contrate profesional certificado para garantizar que el trabajo se realice de manera adecuada y segura
- Prevención es clave para la salud y la seguridad de su hogar

Un problema de salud pública



UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

World Health Organization

AMA AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION

NCRP National Council on Radiation Protection & Measurements

HEALTH EFFECTS OF EXPOSURE TO LOW LEVELS OF IONIZING RADIATION BEIR V

AMERICAN LUNG ASSOCIATION.

U.S Department of Health & Human Services Office of the Surgeon General

OIEA

Cancer causado por descendientes de radón ha sido bien establecido por la comunidad científica.
Nuestra acción es eminente.

Contacto

Jorge Laguna, Físico de Salud
Oficina de Control de Radiación de Florida
http://radon.floridahealth.gov
Jorge.Laguna@FlHealth.Gov
850-245-4397

Fundamentos de Epidemiología aplicada a radón

Medidas epidemiológicas de efecto y asociación.

Alberto Ruano Raviña
Área de Medicina Preventiva y Salud Pública
Universidad de Santiago de Compostela

X: @albertoruano8

Declaración de conflicto de interés

Director del Laboratorio de Radón de Galicia, de la USC

Acreditado por ENAC desde 2019 para mediciones de radón interior.

El Laboratorio de Radón de Galicia mide radón desde 2001.

ENAC
Entidad Nacional de Acreditación



Segundo laboratorio español acreditado en trazas

Primero acreditado para medición en continuo

LABORATORIO RADON DE GALICIA

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Introducción

Epidemiología

Estudio de la
distribución, → **Medidas de frecuencia**
y determinantes → **Medidas de efecto**
de los eventos
de salud en
poblaciones
humanas.



Índice

1. **Introducción**
2. **Clasificación de estudios epidemiológicos**
    1. Estudios de cohortes
    2. Estudios de casos y controles
    3. Estudios ecológicos
3. **Medidas de frecuencia**
    1. Prevalencia
    2. Incidencia acumulada
    3. Tasa de incidencia
4. **Medidas de efecto y de impacto**
    1. Razón de riesgos
    2. Odds Ratio



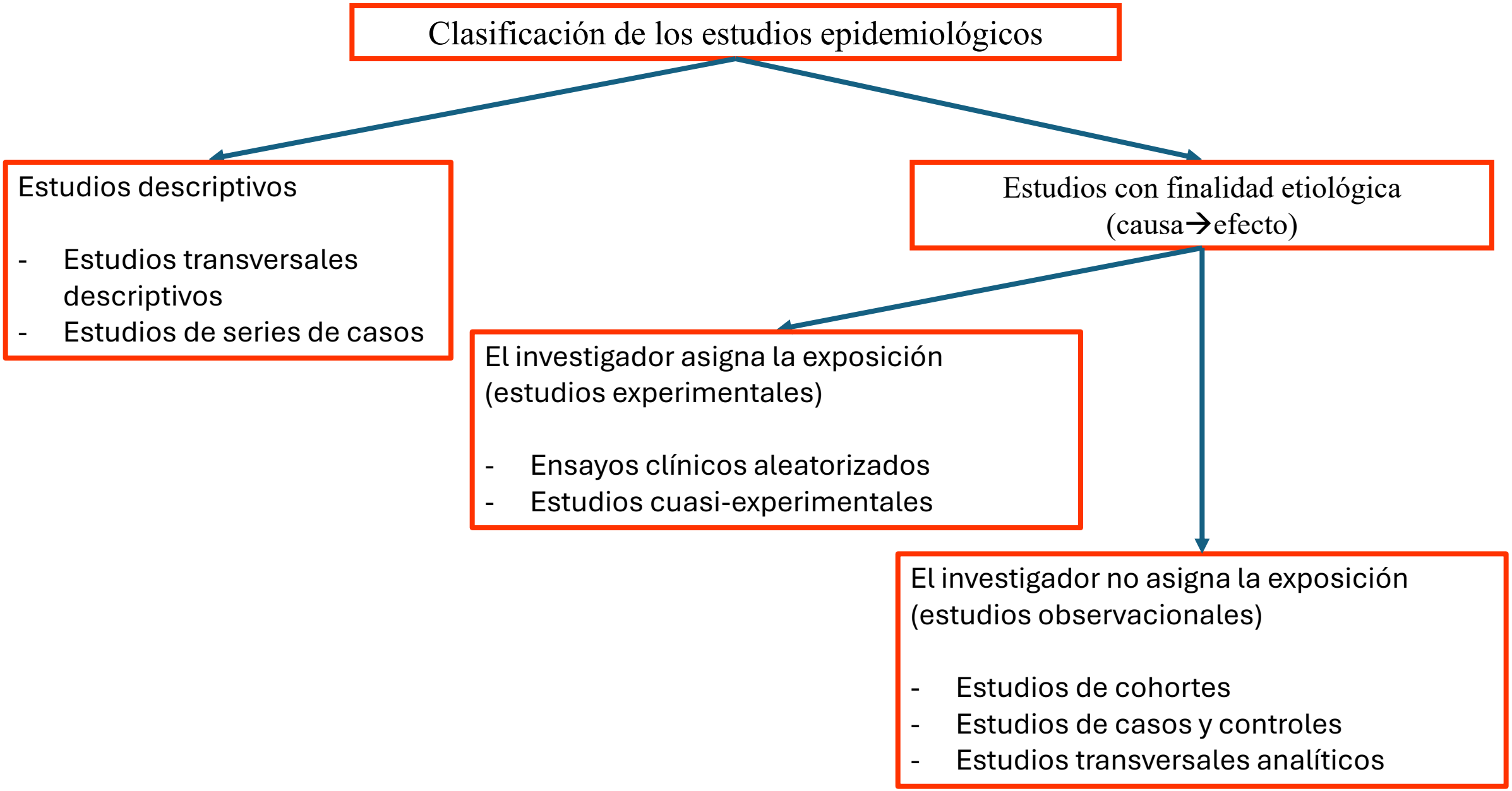
Objetivos

1. Diferenciar los distintos estudios observacionales, con sus ventajas y limitaciones aplicadas al estudio del radón y conocer porqué el efecto del radón sólo se puede medir a través de estudios observacionales
2. Conocer cómo se calculan las medidas de frecuencia y de efecto en estudios observacionales aplicados al radón
3. Comprender que puede haber otras medidas que se apliquen al efecto del radón en poblaciones humanas a nivel global.

Diseño de estudios observacionales

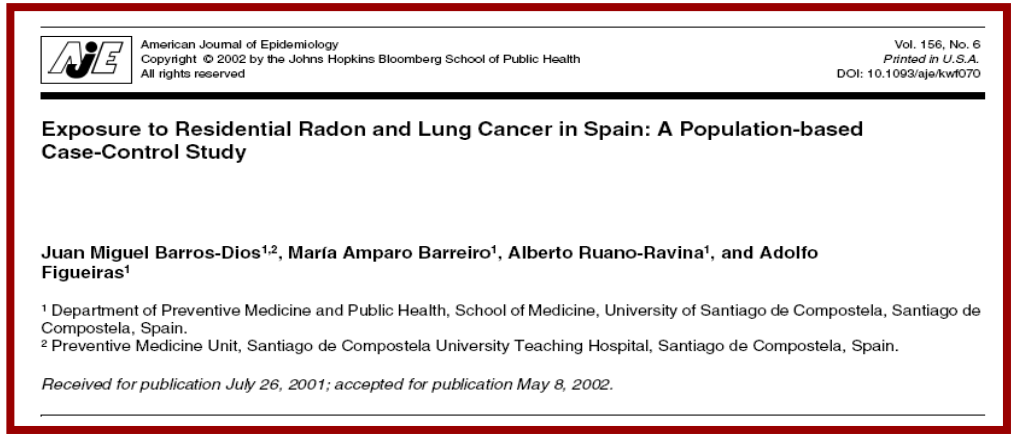
Elección del diseño y aspectos prácticos

Clasificación de los estudios epidemiológicos en ciencias de la salud



Tipos de estudios epidemiológicos según sus características

- Según su carácter temporal
  - Prospectivo, transversal o retrospectivo
- Según la unidad a estudio
  - Estudios de base individual o estudios con datos agregados
- Según la asignación de la intervención
  - Estudios experimentales o estudios observacionales



American Journal of Epidemiology
Copyright © 2002 by the Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health
All rights reserved

Vol. 156, No. 6
Printed in U.S.A.
DOI: 10.1093/aje/kwf070

Exposure to Residential Radon and Lung Cancer in Spain: A Population-based Case-Control Study

Juan Miguel Barros-Dios[1,2], María Amparo Barreiro[1], Alberto Ruano-Ravina[1], and Adolfo Figueiras[1]

[1] Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine, University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain.
[2] Preventive Medicine Unit, Santiago de Compostela University Teaching Hospital, Santiago de Compostela, Spain.

Received for publication July 26, 2001; accepted for publication May 8, 2002.

A Ruano-Ravina, S Cerdeira-Caramés, M Conde-Rodríguez, JM Barros-Dios. A cohort study on residential radon and lung cancer. Do we need further evidence? Epidemiology. 2009. 20 (1): 154-55.





www.nature.com/scientificreports

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Residential radon exposure and brain cancer: an ecological study in a radon prone area (Galicia, Spain)

5 January 2017
5 May 2017

Alberto Ruano-Ravina[1,2,3], Nuria Aragonés[2,4], Karl T. Kelsey[5], Mónica Pérez-Ríos[1,2], María Piñeiro-Lamas[2], Gonzalo López-Abente[2,4] & Juan M. Barros-Dios[1,2,5]

Clasificación de estudios y capacidad de inferencia causal

Ensayos clínicos.

Estudios de cohortes.

Prospectivos

Estudios de casos y controles

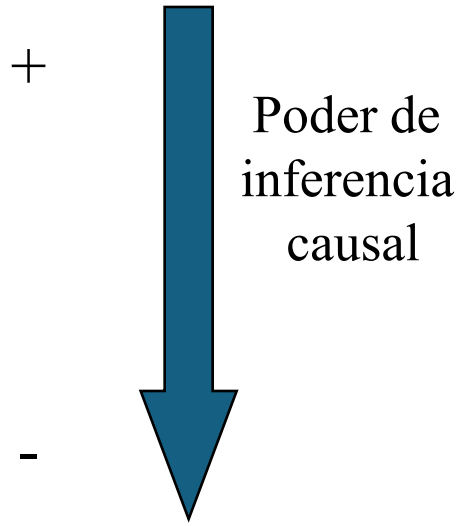
Retrospectivos

Estudios transversales analíticos

Series de casos

Estudios de supervivencia

Descriptivos



Estudios de pruebas diagnósticas.

Metaanálisis y revisiones, sistemáticas o no

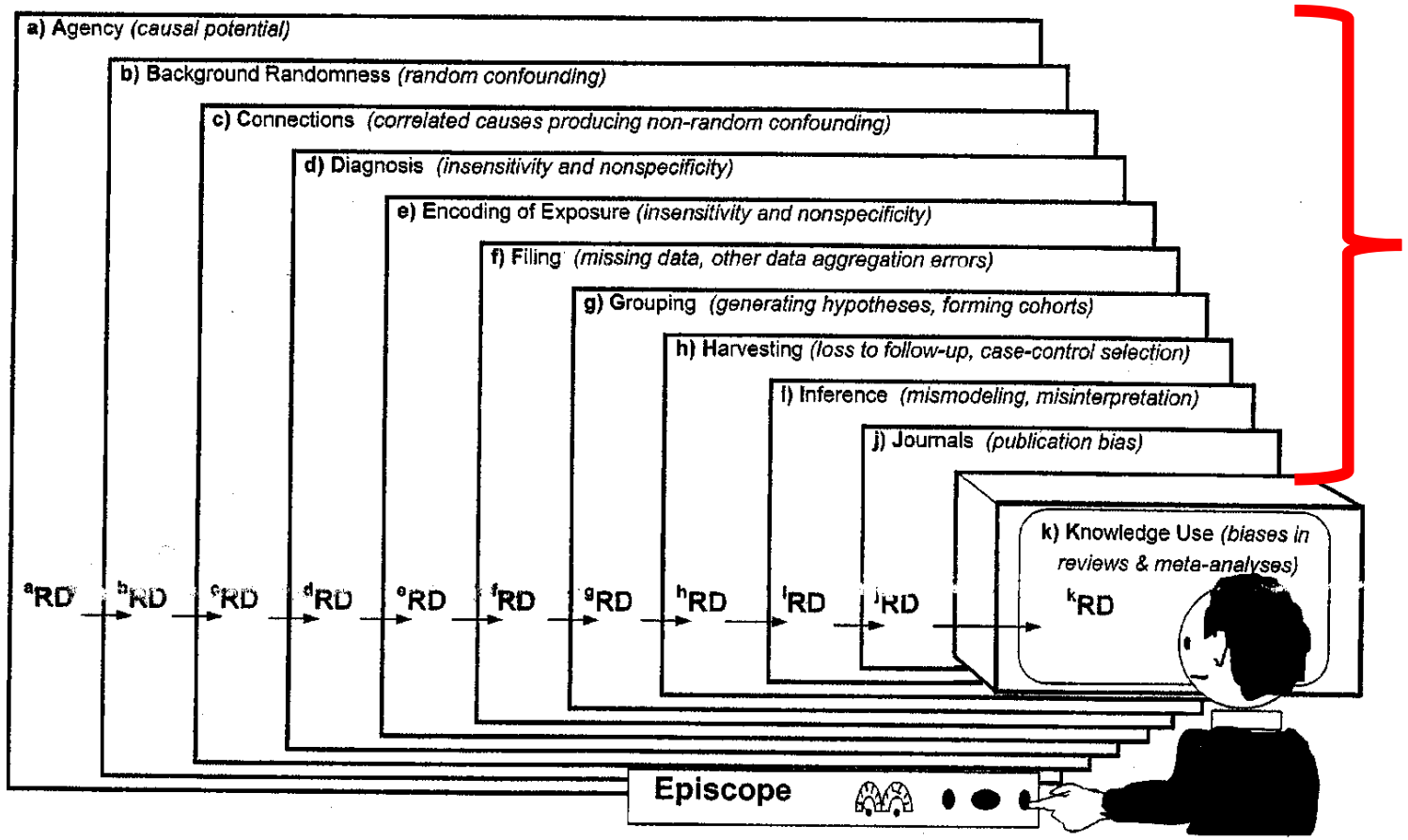
Elección del diseño de investigación

- Es uno de los aspectos más complejos. Habitualmente lo eficiente (rápido, barato) se contrapone con lo más válido

- El diseño se seleccionará en función de:
  - Naturaleza de la intervención/exposición (beneficiosa/perjudicial)
  - Recursos disponibles (tiempo y dinero)
  - Oportunidad en la obtención de resultados
  - Tamaño muestral estimado

La vida real vs investigación. Validez y fiabilidad

Epidemiology January 2001, Vol. 12 No. 1



Sesgos

FIGURE 1. "The Episcope." A user of epidemiologic evidence sees a "known" RD (^{k}RD) that results from information transmitted, like light rays through a telescope, from a causal ("aetiologic") RD (^{a}RD) in a target population, through layers of "lenses" and "filters." Each layer is a distinct domain where certain types of biases operate, potentially adding additional distortions to the association of interest. Domains a through k are illustrated in Figures 2–10.

TODO ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO ES UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Sesgos en estudios epidemiológicos. Validez interna y validez externa

- Validez interna:
  - Indica si el estudio tiene la metodología adecuada para medir aquello que desea medir. Para analizar adecuadamente la relación entre exposición y enfermedad.
  - Viene definida por los criterios de inclusión y exclusión. Si los criterios de inclusión son estrictos la validez interna aumenta

- Validez externa:
  - Indica la capacidad que tienen los resultados del estudio de ser aplicados a otras poblaciones o contextos diferentes.
  - Viene definida por los criterios de inclusión. Si los criterios son laxos la validez externa aumenta

- Para que exista validez externa debe haber previamente validez interna

¿Qué estudio seleccionar para analizar la relación radón-enfermedad?

- Depende de los recursos disponibles
  - En cuanto a información: mediciones individuales o mediciones agregadas
  - En cuanto a dinero
  - En cuanto a personal
- Depende del tiempo que necesitemos en obtener resultados
- Depende de la incidencia de la enfermedad (más o menos frecuente)
- Depende de la evidencia disponible (no evidencia-estudio ecológico exploratorio)

Estudios de cohortes

Estudios de cohortes

- Los estudios de cohortes han recibido otros nombres:

  - Estudios de incidencia: permiten valorar la incidencia de una enfermedad o condición.

  - Estudios longitudinales: Se realizan varias determinaciones a lo largo del estudio, lo que no siempre es cierto.

  - Estudio prospectivos: omite las cohortes retrospectivas o históricas.

  - Estudios de seguimiento: Confusión con las series de casos.

Diseño

- La población de estudio se divide en dos grupos, el de expuestos y el de no expuestos.

- Se realiza un examen inicial en el que los casos prevalentes son excluidos.

- Sobre las **cohortes se realiza un seguimiento** durante un tiempo variable en función de la enfermedad a estudio y de los objetivos propuestos.

- Al final del seguimiento se comparan las proporciones de sujetos que enfermaron en cada grupo. También se podrían comparar las tasas de incidencia.

Cuadro 3-1: Esquema de un diseño de cohortes

Población elegible
- Eliminación de casos prevalentes
- Sujetos no casos (seguimiento)
  - Expuestos
    - Enfermos
    - No enfermos
  - No expuestos
    - Enfermos
    - No enfermos

El período de seguimiento en los estudios de cohortes.

- ¿Corto o largo?
  Depende

- Debe fijarse siempre en función de la duración del período de inducción de la enfermedad.

- Hay que dejar que el factor a estudio pueda ejercer su influencia sobre la enfermedad.

Carácter prospectivo o retrospectivo

- Los estudios de cohortes pueden ser prospectivos o retrospectivos.

- Si son retrospectivos, el estudio comienza cuando el efecto ya ha aparecido. También se llaman cohortes históricas.

- Los datos del efecto y de la exposición fueron recogidos en el pasado y están disponibles. Se usan en clínica (registros de servicios hospitalarios, historia clínica). Son buenas fuentes de información siempre y cuando estén bien cubiertos y exista información sobre variables clave.

  ¿Tabaco?

Seguimiento. Si no es correcto se puede afectar la validez interna

- Debe ser uniforme en ambos grupos. Los dos grupos deben tener la misma oportunidad de generar casos.

- Debe ser completo. El período de seguimiento debe abarcar el de inducción o el de latencia de la enfermedad. Los períodos incompletos son muy comunes en la literatura. El tiempo de seguimiento depende de la historia natural de la enfermedad.

- Debe valorar adecuadamente las enfermedades que se produzcan. Hay que cuantificar las pérdidas y sus causas. Si se pierde, el sujeto ya no desarrollará la enfermedad. Sujeto perdido = sujeto no analizado. Potencia estadística.

- Debe usar criterios normalizados de diagnóstico o de definición de la variable resultado en los dos grupos para evitar sesgos. Entrenamiento de observadores.

Estudios de cohortes sobre radón

¿Existen?

Los estudios en mineros fueron los primeros estudios realizados, y en los que se basó su declaración como carcinógeno humano.

Los mineros eran de diferentes países, de diferentes materiales extractivos, pero con muchos posibles sesgos (polvo de sílice, radiación gamma, etc).

Mucha prevalencia de consumo de tabaco (mucha más que la población general)

Los mineros se clasificaban en expuestos y no expuestos y se analizó la exposición con el riesgo de cáncer de pulmón.

Se han utilizado para analizar la asociación con otras enfermedades.

Muchos problemas metodológicos (duración de la exposición, control del tabaco, etc).

Estudios de cohortes sobre radón. Radón residencial

Que sepamos, en Galicia se han realizado los dos únicos estudios en los que se ha analizado la relación entre radón y cáncer de pulmón a través de mediciones individuales en un estudio de cohortes.

- Un estudio sobre radón y cáncer de pulmón utilizando los controles de un estudio previo (211 participantes).

- Un estudio sobre radón y otros tumores empleando sujetos del mapa de radón de Galicia (más de 2.000 participantes).

Radón y cáncer de pulmón

A Ruano-Ravina, S Cerdeira-Caramés, M Conde-Rodríguez, JM Barros-Dios.
A cohort study on residential radon and lung cancer. Do we need further evidence?
Epidemiology. 2009. 20 (1): 154-55.



1992-1994

12 años de seguimiento medio

Mayo 2007

$RR_{can\ pul}$: 6,6

211 sujetos seleccionados aleatoriamente

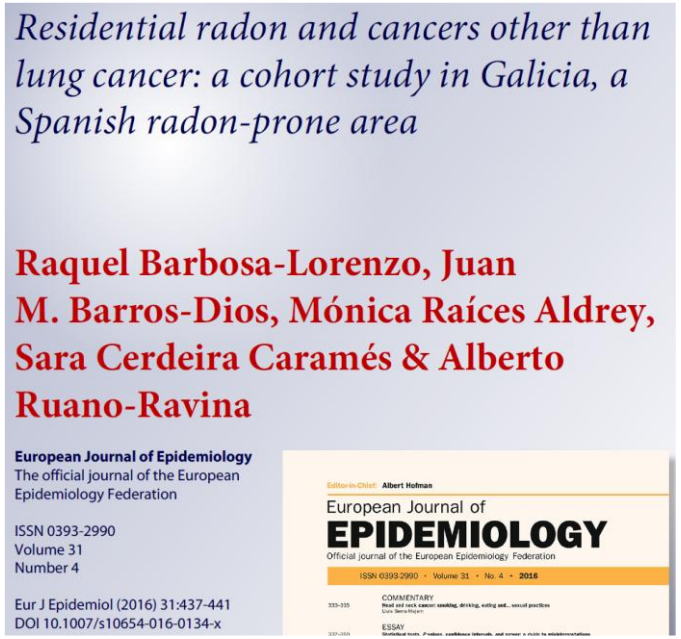
25 sujetos con cáncer de cualquier tipo.
Conc radón inicial: 52 Bq/m3
5 sujetos con cáncer de pulmón
Conc radón inicial: 226 Bq/m3

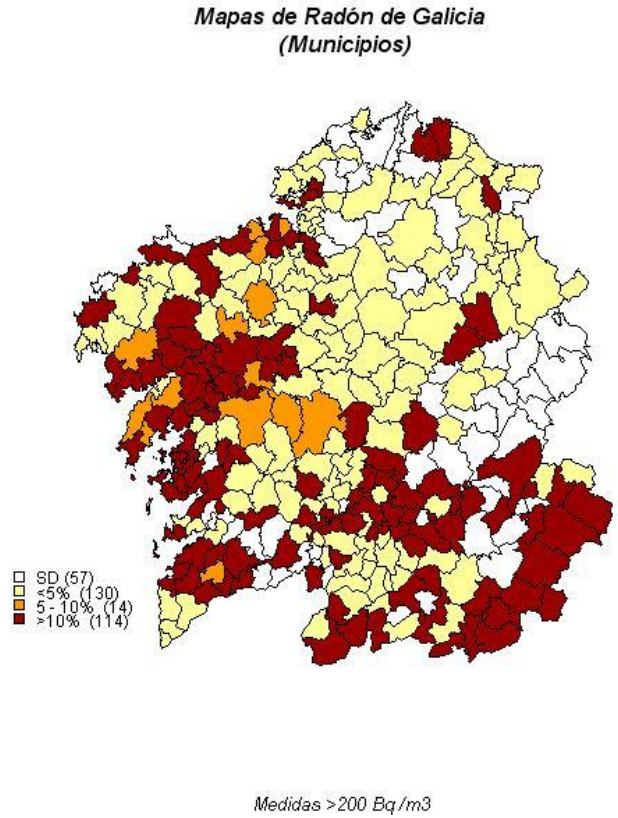
Radón residencial y cáncer. Un estudio de cohortes

Financiación:

Instituto de Salud Carlos III

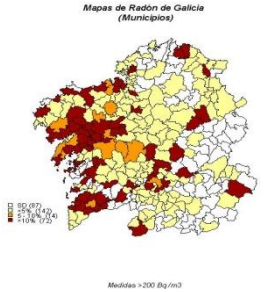
FIS PI10/00296





Sujetos y métodos

Selección de la muestra y composición de la cohorte



Registro de mortalidad
Historia clínica electrónica
Llamadas a participantes

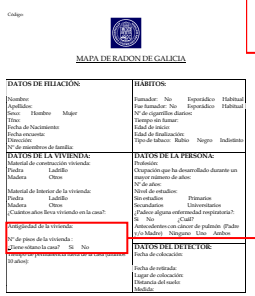
Mediciones de radón 2002-2009

Fin de seguimiento:
Julio 2012

Seguimiento premedición

Follow-up after measurement

Seguimiento estimado:
20-30 años


Código

MAPA DE RADON DE GALICIA

DATOS DE FILIACIÓN:

Nombre:
Apellidos:
Sexo: Hombre Mujer
Titor:
Fecha de Nacimiento:
Fecha encuesta:
Dirección:
Nº de miembros de familia:

DATOS DE LA VIVIENDA:

Material de construcción vivienda:
Piedra Ladrillo
Madera Otros

Material de interior de la vivienda:
Piedra Ladrillo
Madera Otros

¿Cuántos años lleva viviendo en la casa?:

Antigüedad de la vivienda:

Nº de pisos de la vivienda :

¿Tiene sótano la casa? Si No

¿Tiempo de permanencia en dicha vivienda? (Si menos de 10 años):

HÁBITOS:

Fumador: No Esporádico Habitual
Fue fumador: No Esporádico Habitual
Nº de cigarrillos diarios:
Tiempo sin fumar:
Edad de inicio:
Edad de finalización:
Tipo de tabaco: Rubio Negro Indistinto

DATOS DE LA PERSONA:

Profesión:
Ocupación que ha desarrollado durante un mayor número de años:
Nº de años:
Nivel de estudios:
Sin estudios Primarios
Secundarios Universitarios
¿Padece alguna enfermedad respiratoria?
Si No ¿Cuál?
Antecedentes con cáncer de pulmón (Padre y/o Madre) Ninguno Uno Ambos

DATOS DEL DETECTOR:

Fecha de colocación:

Fecha de retirada:
Lugar de colocación:
Distancia del suelo:
Medida:

Cuanto tiempo ha vivido en el mismo domicilio?

	Crude model		Adjusted model[a]	
	Cases, cohort subjects	HR (95%CI)	Cases, cohort subjects	HR (95%CI)
All subjects				
<50 Bq/m^3	63, 752	1.0	61, 739	1.0
≥50 Bq/m^3	130, 1349	1.1 (0.8 - 1.5)	127, 1327	1.2 (0.9 - 1.6)
Men only				
<50 Bq/m^3	51, 423	1.0	50, 415	1.0
≥50 Bq/m^3	90, 776	1.0 (0.7 - 1.4)	87, 759	1.1 (0.8 - 1.5)
Women only				
<50 Bq/m^3	12, 329	1.0	11, 324	1.0
≥50 Bq/m^3	40, 573	1.8 (0.9 - 3.4)	40, 568	1.8 (0.9 - 3.5)
Subjects who had resided 50 years or more				
<50 Bq/m^3	8, 90	1.0	7, 89	1.0
≥50 Bq/m^3	30, 175	2.0 (0.9 - 4.2)	28, 170	2.7 (1.2- 6.5)
Subjects aged 50 years or over at the beginning				
<50 Bq/m^3	56, 410	1.0	54, 402	1.0
≥50 Bq/m^3	119, 714	1.2 (0.8 - 1.6)	116, 702	1.2 (0.9 - 1.7)
Only never smokers[b]				
<50 Bq/m^3	29, 388	1.0	29, 387	1.0
≥50 Bq/m^3	67, 728	1.2 (0.8-1.9)	67, 727	1.2 (0.7 - 1.8)

2127 sujetos
193 cánceres

Barbosa-Lorenzo et al. European Journal of Epidemiology. 2016. Primer decil

Estudios de casos y controles

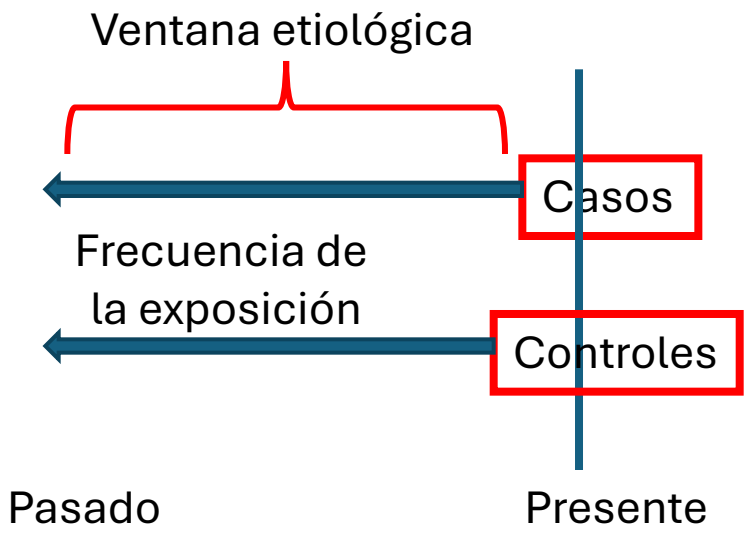
Introducción

- Los estudios de casos y controles son un tipo de diseño epidemiológico.
- Ha sido uno de los diseños epidemiológicos más utilizados.
- Se han llegado a definir como una versión eficiente de los estudios de cohortes.
- Para realizarlos, se seleccionan una serie de individuos que presenten una determinada enfermedad o condición (casos) y otra serie de sujetos que no la tengan (controles).
- Entonces se comparan, de modo retrospectivo, la exposición o exposiciones a estudio en ambos grupos.

Estudios de casos y controles

- Definición:

  Estudios de carácter temporal retrospectivo en los que se compara la frecuencia de la exposición de interés, en el pasado, entre sujetos con la enfermedad a estudio (casos) y sujetos sin dicha enfermedad (controles).



Principales ventajas

Son baratos

Son rápidos (no hace falta esperar a que aparezca la enfermedad)

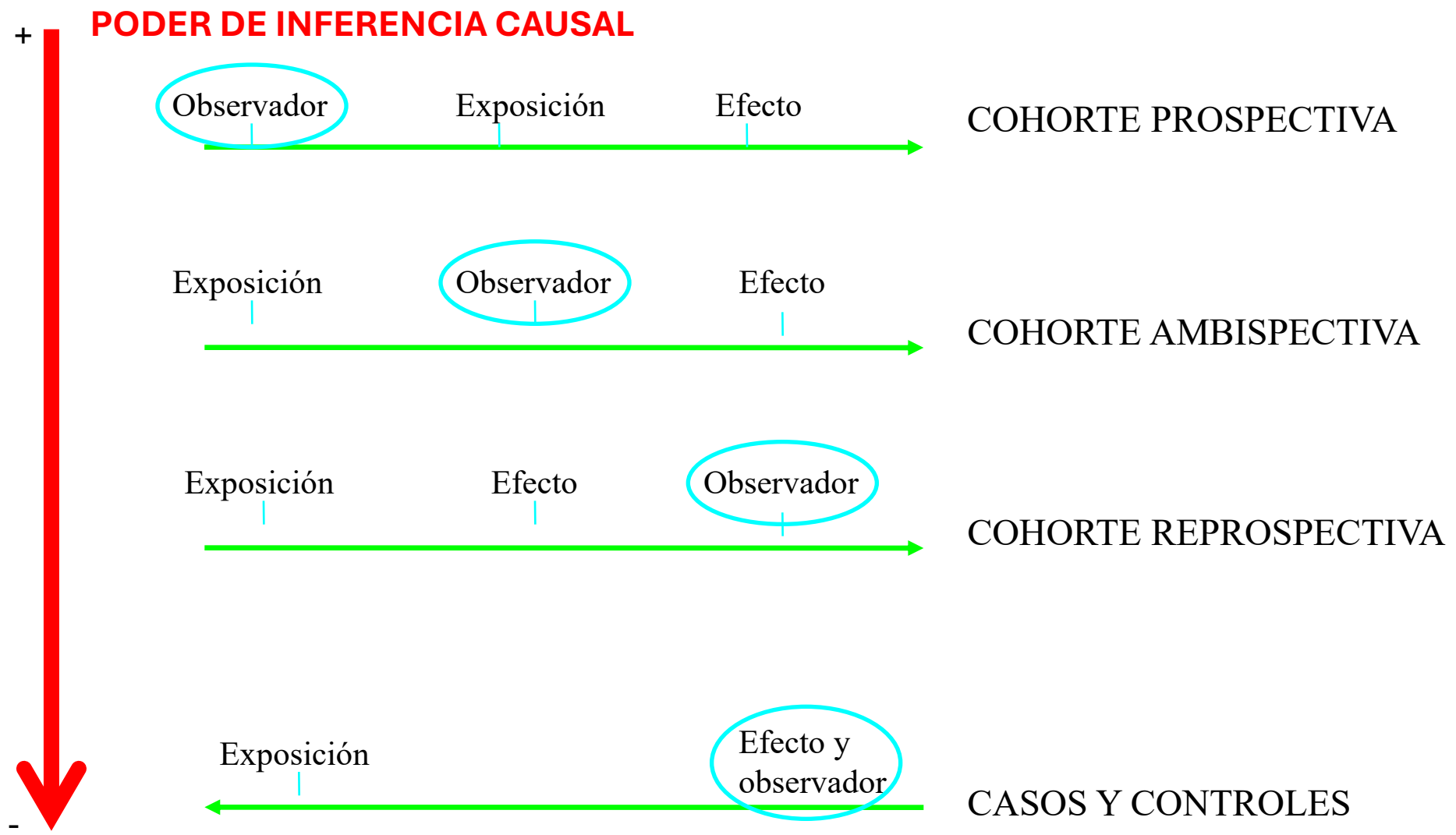
Permiten llegar a conclusiones parecidas a los estudios de cohortes si se diseñan adecuadamente pero con menor muestra

Estudios de casos y controles

- Cuanto más larga sea la ventana etiológica mayor es la probabilidad de sesgo.
- La ventana etiológica debe ser igual entre casos y controles.
- ¿En cuál de los tres ejemplos es más fiable la información proporcionada?

Estudio de casos y controles sobre tabaco y cáncer de pulmón
Estudio de casos y controles sobre radón y cáncer de pulmón
Estudio de casos y controles sobre el consumo de frutas y verduras y cáncer de pulmón

Tipos de estudios de de cohortes y diferencia con casos y controles



LA HISTORIA CLÍNICA ELECTRÓNICA ABRE GRANDES OPORTUNIDADES PARA HACER ESTUDIOS DE COHORTES

Radón y cáncer de pulmón. Ejemplo de estudio de casos y controles

Estudio de casos y controles 1992-1994, 400 sujetos. Am J Epidemiol 2002. Financiación FIS.

- Riesgo significativo a partir de 37 Bq/m3 (OR 2,7 y relación dosis respuesta). Fumadores expuestos a radón con riesgo significativo de 46.

American Journal of Epidemiology
Copyright © 2002 by the Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health
All rights reserved

**Exposure to Residential Radon and Lung Cancer in Sp
Case-Control Study**

**Juan Miguel Barros-Dios[1,2], María Amparo Barreiro[1], Alberto Rua
Figueiras[1]**

[1] Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine,
Compostela, Spain.
[2] Preventive Medicine Unit, Santiago de Compostela University Teaching Ho

Received for publication July 26, 2001; accepted for publication May 8, 2002

TABLE 3. Interaction between exposure to radon and lifetime tobacco consumption, Spain, 1992–1994

Lifetime tobacco consumption	Radon concentration		No. of subjects		Adjusted* analysis	
	Bq/m³	pCi/liter	Cases	Controls	OR†	95% CI†
Nonsmokers	0–36.9	0.0–0.9	2	28	1.00	
	≥37.0	≥1.0	11	76	1.81	0.33, 10.09
Smokers	0–36.9	0.0–0.9	24	43	20.16	3.43, 118.55
	≥37.0	≥1.0	118	85	46.45	8.46, 254.85

* Adjusted for age, sex, and family history.
† OR, odds ratio; CI, confidence interval.

Introducción

- Debe tenerse muy clara al principio del estudio la definición de caso y de control.

- El caso debe ser correctamente identificado como tal. Su identificación tiene una determinada sensibilidad y especificidad, las cuales influyen en la estimación del efecto de la exposición en la aparición de la enfermedad.

  - Prueba diagnóstica que define al caso. Prueba de imagen en cáncer de pulmón, espirometría en EPOC.

  - Criterios diagnósticos para la definición de caso. Algunas enfermedades reumatológicas.

Introducción

Casos incidentes vs casos prevalentes.

Falacia de Neyman

La recogida de los casos debe ser siempre incidente cuando sea posible.

Cuando se seleccionen casos prevalentes se debe estar seguro que el factor a analizar no influye en la letalidad de la enfermedad.

Introducción

El estudio de casos y controles como instrumento de medición causa-efecto. Retrospectivo

Principios que deben cumplir los estudios de casos y controles:

- Principio de la base del estudio.
- Principio de no confusión.
- Principio de las medidas comparables.

- Principio de eficiencia.

Introducción

El cumplimiento de las premisas anteriores puede garantizar que en el estudio no existan:

- Sesgo de selección.
- Sesgo de confusión.
- Sesgo de información.

Principio de la base del estudio.

- La base del estudio es un conjunto de personas o personas-tiempo del cual surgen los casos y los controles.

- Se puede distinguir de entre base primaria (poblacional) y base secundaria (población que acude a un hospital).

- Tanto se utilice una base primaria o secundaria, debe cumplirse una premisa de **reciprocidad** entre los casos y los controles.

¿Se deben de recoger simultáneamente en el tiempo los casos y los controles?

Principio de la base del estudio.

- Con una base poblacional, la dificultad estriba en la identificación de los casos en la propia base.

¿Existen registros?

En la base secundaria, el problema está en la identificación de la propia base.

¿Representa la población hospitalaria a la población general?

¿Portugal?

¿Cataluña?

¿EEUU?

Principio de la base del estudio. Muestreo

- A veces, puede no ser práctica la selección aleatoria de controles (por motivos económicos sobre todo).

- Se puede utilizar una muestra no aleatoria de controles asumiendo que la distribución de la exposición de interés es similar a la de una muestra aleatoria tomada de la base secundaria.

- Cálculo del tamaño muestral en un estudio de casos y controles. Ejemplo estudio cáncer de pulmón microcítico.

Principio de la base del estudio. Muestreo

- La asunción anterior es válida cuando:
  - Se cumple el principio de reciprocidad.
  - La exposición a estudio es independiente de la admisión del control.

Principio de no confusión.

- Este principio indica el problema que existe cuando la exposición a estudio está asociada a otros factores de riesgo.
- La selección de controles puede ir asociada a variables confusoras que no se han medido.
- La revisión bibliográfica en la fase del diseño del estudio es fundamental.

Principio de no confusión.

- Una forma de eliminar la confusión es disminuir su variabilidad (seleccionando no fumadores, un sólo sexo…).

Criterios de inclusión

- Debemos hacer que los controles sean comparables a los casos mediante el emparejamiento o el muestre por frecuencia de determinadas variables (sexo, edad).

Principio de las medidas comparables

- El error en la medida de las variables es inevitable en todo estudio epidemiológico y se acrecienta cuando el estudio es retrospectivo.

- La distribución en el error de la medida de las variables debe de ser similar en casos y en controles. Muchas veces de un modo inconsciente, el investigador insiste más con los casos que con los controles (o con los expuestos frente a los no expuestos).

Principio de las medidas comparables (ejemplo)

	Casos	Controles
Expuestos	5	2
No expuestos	127	185
Total	132	187

OR = 3,64

	Casos	Controles
Expuestos	5	3
No expuestos	127	184
Total	132	187

OR = 2,41

Principio de las medidas comparables

- Sería conveniente que el entrevistador fuese ciego al estado de caso o control de los sujetos.

- También pueden influir en las respuestas de los entrevistados su estado actual o las percepciones sobre la causa de su enfermedad.

Principio de eficiencia.

- Es conveniente tener en cuenta los recursos disponibles para realizar el estudio, tanto en tiempo como en dinero.

- Podemos plantearnos las siguientes preguntas:
  - ¿Vale la pena realizar una entrevista de dos horas? ¿Lugares de exposición?
  - ¿Vale la pena tomar una muestra biológica y determinar 30 parámetros?

Mediciones de radón y caracterización de la exposición

Principales tipos de controles

Controles poblacionales

- Ventajas
  - Misma base
  - Exclusiones implícitas (los que no pertenecen a la base poblacional).
  - Extrapolación a la base del estudio de los resultados en los controles.
- Desventajas
  - Poca respuesta
  - Inconveniencia ¿muestras biológicas?
  - Coste
  - Menos motivación
  - Menos participación

Controles hospitalarios

- Ventajas.
  - Calidad de la información comparable en casos y controles.
  - Conveniencia (muestra biológica).
  - Más participación y más motivación.
- Desventajas.
  - Área de cobertura (no cumplimiento de la base del estudio).
  - Relación de la enfermedad a estudio con el ingreso del hospital (sesgo de Berkson).

Estudios ecológicos

Estudios Ecológicos

Las unidades de estudio no son individuos, sino que son **grupos** de individuos.



VS



- La variable dependiente
- Las variables independientes

Se miden a nivel de grupos y NO en cada uno de los individuos

Estudios Individuales *vs* Ecológicos

	Individuales	Ecológicos
Unidades análisis	Individuo	Grupos (regiones, países, días, semanas)
Información	Individuo	Grupos
Inferencia	Individuo	Grupos
Fuentes de datos	Primarias (entrevistas, determinaciones)	Secundarias (registros de mortalidad o morbilidad, datos consumo, de contaminación)
Variables	-Filiación -Exposición -Control	-Agregadas (Prevalencia) -Ambientales (Contaminación) -Global (Densidad de población)
Tipos	Transversales Cohortes Casos y controles...	Agregaciones temporales Agregaciones temporales Mixtos

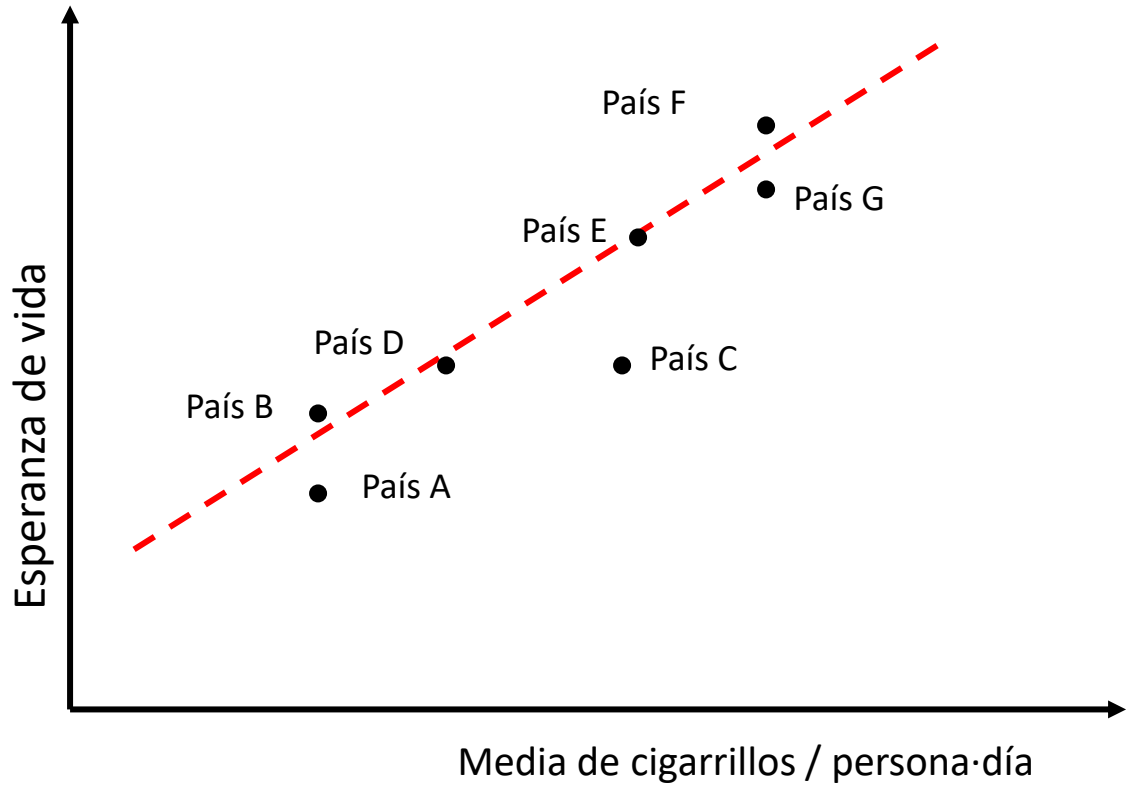
Estudios Ecológicos

Útiles por:

1. Bajo **coste** y conveniencia
2. Limitaciones en la medida individual de la exposición
3. Limitaciones de los estudios individuales
4. Interés en los efectos ecológicos
5. Simplicidad en la presentación y en el análisis
6. Nos sirven para plantear hipótesis que luego deben ser demostradas con otros diseños

La Falacia ecológica

Si relacionamos el consumo per cápita de cigarrillos y lo relacionamos con la esperanza de vida a nivel de país:



País	Cigarrillos /Día	Esperanza de vida
A	1.1	45
B	4.3	55
B	7.4	70
D	7.9	75
E	8.2	77
…		

Tipos de Estudios Ecológicos

- Agregaciones temporales
- Agregaciones espaciales
- Mixtos (espacio-temporales)





SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Residential radon exposure and brain cancer: an ecological study in a radon prone area (Galicia, Spain)

Received: 5 January 2017
Accepted: 5 May 2017
Published online: 15 June 2017

Alberto Ruano-Ravina[1,2,3], Nuria Aragonés[2,4], Karl T. Kelsey[3], Mónica Pérez-Ríos[1,2], María Piñeiro-Lamas[2], Gonzalo López-Abente[2,4] & Juan M. Barros-Dios[1,2,5]

We aimed

Variables	N (%)
Number of radon measurements by municipality	
3–4	78 (31.1)
5–14	120 (47.8)
15–29	32 (12.7)
30–49	10 (4.0)
≥50	11 (4.4)
Radon concentration by municipality (Geometric mean Bq/m^3)	
<100	124 (49.4)
100–147	62 (24.7)
148–199	31 (12.3)
200–249	20 (8.0)
≥250	14 (5.6)
Relative Risk of brain cancer in males by municipality	
<1, 0	8 (3.2)
1, 0–1, 04	136 (54.1)
1, 05–1, 09	84 (33.5)
≥1, 10	23 (9.2)
Relative Risk of brain cancer in females by municipality	
<1, 0	151 (60.2)
1, 0–1, 04	53 (21.1)
1, 05–1, 09	29 (11.5)
≥1, 10	18 (7.1)

Table 1. Characteristics of residential radon measurements a municipalities.

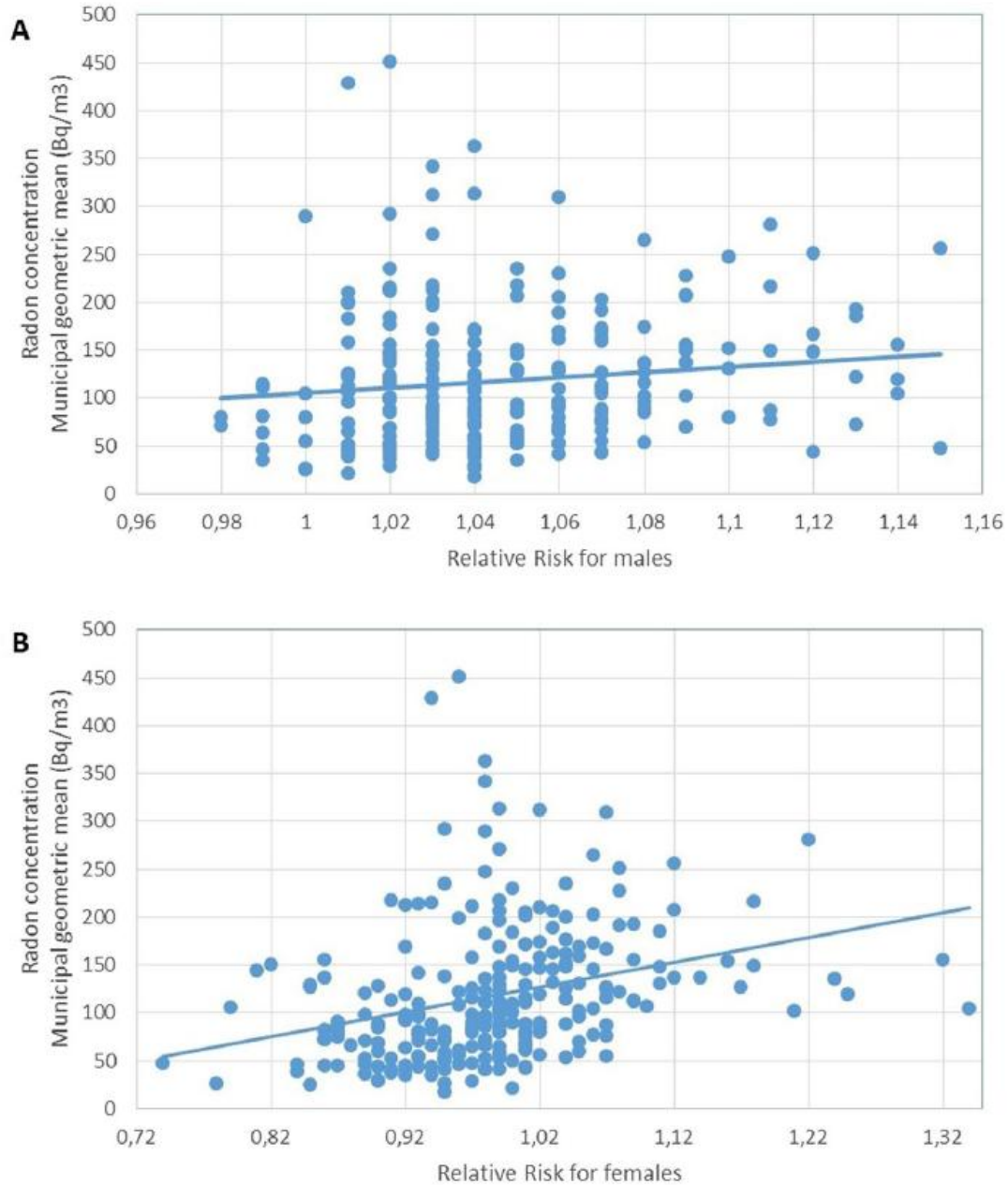


Figure 1. Scatterplot showing the correlation between municipal radon concentration mortality for brain cancer in (**A**) males, and (**B**) females.

Fundamentos de Epidemiología aplicada a radón

Medidas epidemiológicas de efecto y asociación.

Alberto Ruano Raviña
Área de Medicina Preventiva y Salud Pública
Universidad de Santiago de Compostela

X: @albertoruano8

Efectos del radón en la salud humana. Radón en el trabajo
Mapas de Radón

Alberto Ruano Raviña
Área de Medicina Preventiva y Salud Pública
Universidad de Santiago de Compostela

X: @albertoruano8

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Contenidos

Radón y cáncer de pulmón

- Mecanismos moleculares

Radón y otros tumores

Radón y otras enfermedades

Radón en puestos de trabajo

Mapas de radón

- El Mapa de radón de Galicia

El futuro

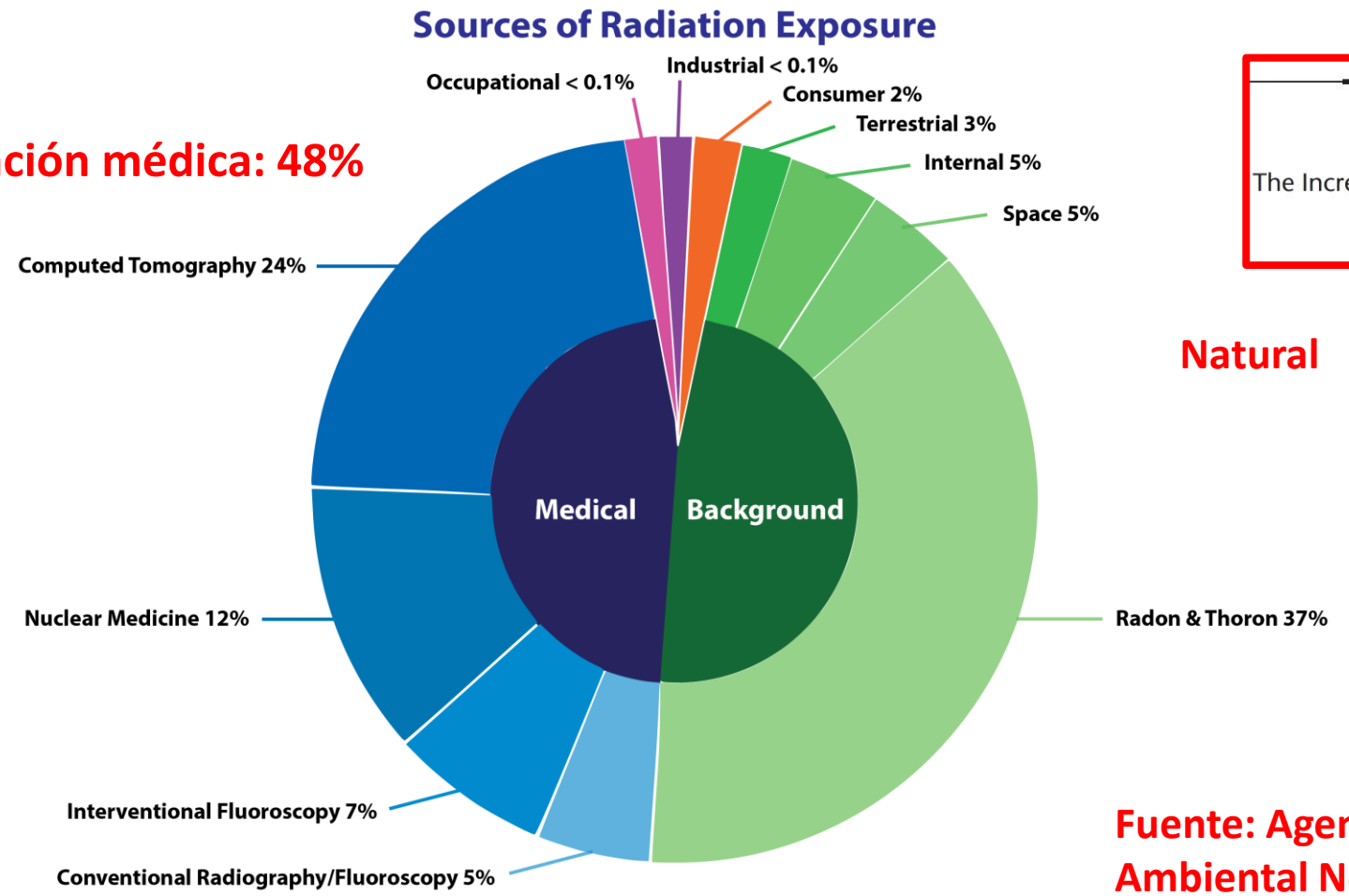
Radón y cáncer de pulmón

Información a la entrada de una mina que después se utilizó como fue cárcel. Explotada con fines turísticos. Connecticut, USA, Septiembre de 2006



Fuentes de radiación ionizante. USA

Fuentes de radiación médica: 48%



COMMENTARY

ISEE

The Increasing Exposure of the Global Population to Ionizing Radiation

Alberto Ruano-Ravina,[a,b] and Richard Wakeford[c]

Epidemiology. 2020

Artificial

Natural

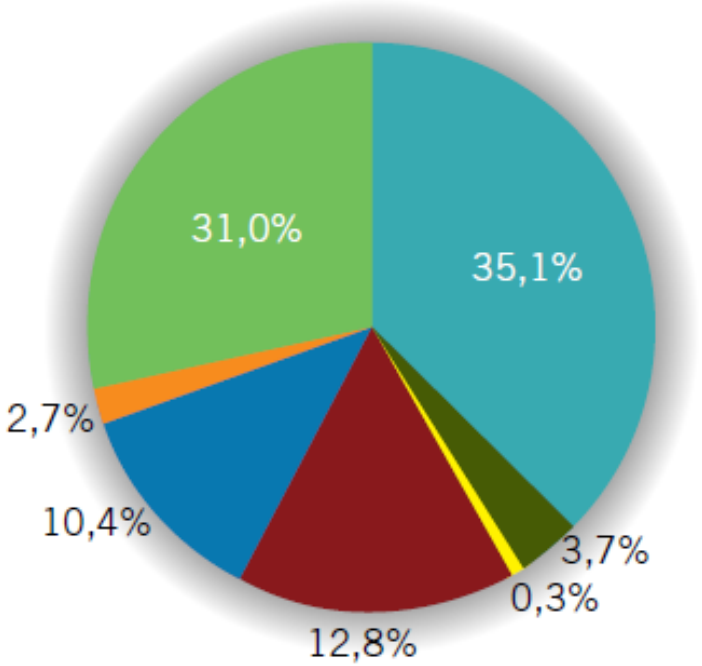
Fuente: Agencia de Protección Ambiental Norteamericana

Average Annual Radiation Dose

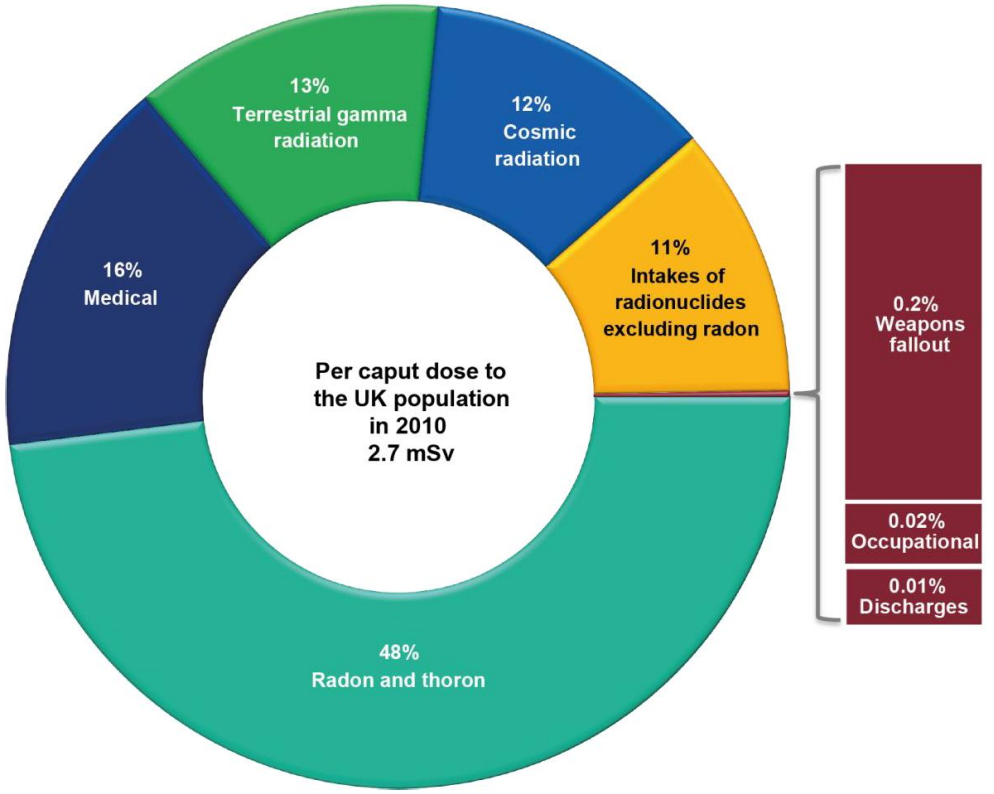
Sources	Radon & Thoron	Computed Tomography	Nuclear Medicine	Interventional Fluoroscopy	Space	Conventional Radiography/ Fluoroscopy	Internal	Terrestrial	Consumer	Occupational	Industrial
Units											
mrem (United States)	228 mrem	147 mrem	77 mrem	43 mrem	33 mrem	33 mrem	29 mrem	21 mrem	13 mrem	0.5 mrem	0.3 mrem
mSv (International)	2.28 mSv	1.47 mSv	0.77 mSv	0.43 mSv	0.33 mSv	0.33mSv	0.29 mSv	0.21 mSv	0.13 mSv	0.005 mSv	0.003 mSv

(Source: National Council on Radiation Protection & Measurements, Report No. 160)

Fuentes de radiación ionizante



Fuente:
Consejo de Seguridad Nuclear



Breakdown of the per caput dose to the UK population in 2010 by source of exposure

Fuente: Public Health England 2016

UK: 2.7 mSv dosis media anual

EEUU: 6.2 mSv

ICRP 137 Enero 2018. Equivalencias dosimétricas. Exposición a radón y dosis efectivas

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION

Using this dose coefficient, exposure to radon at the upper value of the national reference level of 300 Bq m^{-3} recommended in ICRP *Publication 126* corresponds to an annual effective dose of 4 mSv at work and 14 mSv at home.

***To calculate effective dose**, multiply the appropriate coefficient by the radon (or radon progeny) concentration and the time exposed. For example:*

$$6.7\times10^{-6}\ mSv\ per\ Bq\ h\ m^{-3} \times 300\ Bq\ m^{-3} \times 2000\ h = 4\ mSv$$

For the specific situations of indoor work involving substantial physical activity, and exposures in tourist caves, the recommended dose coefficient is 6 mSv per mJ h m^{-3} (approximately 20 mSv per WLM).

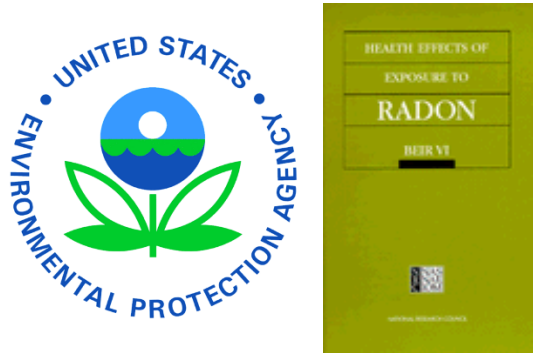
In cases where aerosol characteristics are significantly different from typical conditions, where sufficient reliable aerosol data are available and estimated doses warrant more

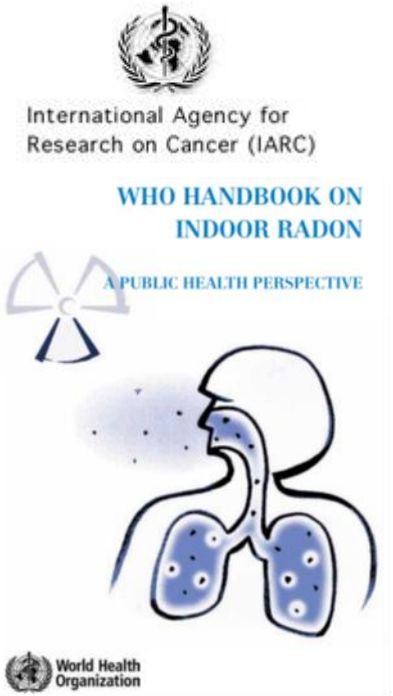
Radón y cáncer de pulmón.

✓ El radón residencial fue declarado carcinógeno humano por la Agencia de Protección Ambiental de USA en 1987 y por la IARC en 1988.

✓En 2009 la OMS ha recomendado bajar el nivel de acción a 100 Bq/m^3.

✓ Primer factor de riesgo del cáncer de pulmón en nunca fumadores y el segundo en fumadores y exfumadores en zonas de riesgo.





NCRP REPORT No. 160

IONIZING RADIATION EXPOSURE OF THE POPULATION OF THE UNITED STATES

CONCLUSIONS

Despite the challenges associated with understanding the health effects of low doses of low-LET radiation, current knowledge allows several conclusions. The BEIR VII committee concludes that current scientific evidence is consistent with the hypothesis that there is a linear dose-response relationship between exposure to ionizing radiation and the development of radiation-induced solid cancers in humans. The committee further judges it unlikely that a threshold exists for the induction of cancers but notes that the occurrence of radiation-induced cancers at low doses will be small. The committee maintains that other health effects (such as heart disease and stroke) occur at high radiation doses, but additional data must be gathered before an assessment can be made of any possible connection between low doses of radiation and noncancer health effects. Additionally, the committee concludes that although adverse health effects in children of exposed parents (attributable to radiation-induced mutations) have not been found, there are extensive data on radiation-induced transmissible mutations in mice and other organisms. Thus, there is no reason to believe that humans would be immune to this sort of harm.

Radón y cáncer de pulmón. Evidencia científica

Primero se realizaron estudios en mineros (estudios de cohortes). Estudio BEIR VI. Modelos.

Estudios en población general:

- ✓ En los años 90 se hicieron muchos estudios de casos y controles analizando la relación entre radón residencial y cáncer de pulmón.
- ✓ La mayoría observó un riesgo de cáncer de pulmón asociado a la exposición a radón, aunque la magnitud del riesgo era variable, con riesgos que oscilaban entre 1,5 y 3.
- ✓ La metodología y tamaño muestral de estos estudios era muy diferente.

Radón y cáncer de pulmón

Estudios en población general:

✓ En 2005 se publica un pooled study en el British Medical Journal con la información de 7.148 casos y 14.208 controles reclutados de 13 estudios de casos y controles de 9 países europeos. Es el estudio más citado sobre radón y CP. Sirvió de inicio al International Radon Project de la OMS.



✓ Existe un riesgo lineal de cáncer de pulmón del 16% por cada 100 Bq/m^3 en la concentración de radón domiciliario.

✓ Un estudio similar publicado en Epidemiology (pooling americano) encuentra un riesgo lineal del 11% por cada 100 Bq/m^3.

Radón y cáncer de pulmón

Consecuencias del estudio pooling europeo:



Población general

Trabajadores

17.1.2014 ES Diario Oficial de la Unión Europea L 13/1

II

(Actos no legislativos)

DIRECTIVAS

DIRECTIVA 2013/59/EURATOM DEL CONSEJO

de 5 de diciembre de 2013

por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom

EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica, y en particular sus artículos 31 y 32,

Vista la propuesta de la Comisión Europea, elaborada previo dictamen de un grupo de personas nombradas por el Comité Científico y Técnico entre expertos científicos de los Estados miembros y previa consulta al Comité Económico y Social Europeo,

(3) La Directiva 96/29/Euratom establece las normas básicas de seguridad. Las disposiciones de dicha Directiva se aplican a las situaciones normales y de emergencia y han sido completadas con legislación más específica.

(4) La Directiva 97/43/Euratom del Consejo (3), la Directiva 89/618/Euratom del Consejo (4), la Directiva 90/641/Euratom del Consejo (5) y la Directiva 2003/122/Euratom del Consejo (6) cubren diferentes aspectos específicos que complementan la Directiva 96/29/Euratom.

BOE BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO
Núm. 311 Viernes 27 de diciembre de 2019 Sec. I. Pág. 140488

I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE FOMENTO

18528 *Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.*

BOE BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO
Núm. 305 Miércoles 21 de diciembre de 2022 Sec. I. Pág. 178672

I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, RELACIONES CON LAS CORTES Y MEMORIA DEMOCRÁTICA

21682 *Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes.*



CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

Editorial. Eur Resp J. 2017

Action levels for indoor radon: different risks for the same lung carcinogen?

Alberto Ruano-Ravina[1,2,3], Karl T. Kelsey[3], Alberto Fernández-Villar[4] and Juan M. Barros-Dios[1,2,5]

TABLE 1 Action levels for residential radon enforced by different countries and organisations

Country/ organisation	Current action level (year established)	Former reference level (year established)
USA (USEPA)	148 Bq·m^{-3} (1988)	
WHO	100 Bq·m^{-3} (300 Bq·m^{-3} if 100 Bq·m^{-3} cannot be achieved) (2009)	N/A
EU	300 Bq·m^{-3} (2014)	200 Bq·m^{-3} for new dwellings and 400 for dwellings already built (1993)
ICRP	300 Bq·m^{-3} (2011)	600 Bq·m^{-3} (2007)
UK	200 Bq·m^{-3} (target level 100 Bq·m^{-3})	200 Bq·m^{-3} (no target level)
Ireland	200 Bq·m^{-3} (2007)	N/A
Canada	200 Bq·m^{-3} (2007)	800 Bq·m^{-3} (1988)
Spain	N/A	N/A
Germany	N/A	N/A

USEPA: United States Environmental Protection Agency; WHO: World Health Organization; EU: European Union; N/A: not available; EU: European Union; ICRP: International Commission on Radiological Protection.

Table 1. Description of radon measurement studies in Central and South American countries.

Authors (Publication)	Measurement Year	Method of Detection	Location *	Coverage	No. of Areas **	Setting	No. of Homes	Radon Level (Bq/m^3)				
								Max	Min	AM	GM	MED
Urban M, et al. (1985) [16]	1982	Alpha-track	Brazil	Nationwide	4	Urban	320	67	24	114	-	-
Gomez J C, et al. (1990) [18,20]	1983–1985, 1987–1988	Alpha-track	Argentina, Buenos Aires	Autonomous city	1	Urban	102	-	-	23	-	-
Gomez J C, et al. (1990) [18,20]	1983–1985	Alpha-track	Argentina, San Rafael	Province	1	Urban and rural	53	-	-	50.5	-	-
Gomez J C, et al. (1990) [18,20]	1984–1985	Alpha-track	Argentina, Malargüe	Province	1	Urban and rural	24	-	-	34	-	-
Loría LG, et al. (1993) [17]	-	Alpha-track	Costa Rica	Nationwide	25	Urban	45	30.3	8.1	13.85	-	-
Stuardo E (1996) [20,36]	1992–1993	Alpha-track, electrets	Chile, Santiago	Municipality	1	Urban	119	86	4	24.5	-	-
Malanca A, et al. (1997) [34]	1995–1996	Alpha-track	Brazil, Natal	Municipality	1	Urban	24	40	3.2	15.4	11.7	-
Malanca A, et al. (1997) [35]	1995–1996	Alpha-track	Brazil, Rio Grande del Norte and Ceará	State	2	Urban	88	140	3.2	11.9	12.4	11.9
De Paula Melo, V (1999) [24]	1997–1998	Alpha-track	Brazil, Monte Alegre	Municipality	1	Urban	33	188	27	75	-	-
De Paula Melo, V (1999) [24]	1997–1998	Alpha-track	Brazil, Inglés de Souza	Village	1	Rural	35	200	32	116	-	-
Sajó-Bohus L, et al. (1999) [21,44–46]	1993	Alpha-track, gamma radiation	Venezuela	Nationwide	1	Urban	36	41	31	36	-	-
Guedes S, et al. (1999) [25]	1999	Alpha-track	Brazil, Campinas	Municipality	1	Urban	15	150.9	6.2	43.98	-	-
UNSCEAR (2000) [20]	-	-	Paraguay	-	-	-	51	-	-	28	-	-
Canoba A, et al. (2001) [21,45]	2000	Alpha-track	Brazil, Campinas and Presidente Prudente	Municipality	2	-	320	275.73	16.68	81.27	-	-
Canoba A, et al. (2001) [21,45,46]	2000	Electrets	Ecuador, Quito	Municipality	1	-	61	187.78	35.9	94.3	-	-
Canoba A, et al. (2001) [21,45,46]	2000	Alpha-track	Peru, Lima	Municipality	1	-	168	46.43	22.14	64.59	-	-
Salazar S (2002) [37]	2002	Electrets	Colombia, Manizales	Municipality	1	Urban and rural	18	11.1	166.5	67.71	-	-
Magalhães M, et al. (2003) [27]	1996–1997	Alpha-track	Brazil, Rio de Janeiro	Municipality	1	Urban	48	200	5	-	40	-
Magalhães M, et al. (2003) [27]	1996–1997	Alpha-track	Brazil, Poços de Caldas	Municipality	1	Urban and rural	125	985	31	-	132.5	-
Veiga LH, et al. (2003) [26]	2000	Alpha-track	Brazil, Poços de Caldas	Municipality	1	Urban and rural	138	1024	12	96	140.5	-
Paulo SR, et al. (2005) [28]	2002	Alpha-track	Brazil, Poços de Caldas	Municipality	1	Urban	39	193	2	133	117	-
Canoba AC, et al. (2006) [19,21–23,45,46]	1983–2006	Alpha-track, activated carbon, electrets	Argentina	Nationwide	14	-	2689	300	-	41.6	-	-
De Olveira Santos T, et al. (2007) [29]	-	Continuous monitoring, electrets	Brazil, Belo Horizonte	Municipality	1	Urban	13	306	12.5	77.49	-	-
Zeeb H (2007) [23]	2005	Alpha-track, electrets	Ecuador	Nationwide	1	-	-	400	100	-	-	-
Zeeb H (2007) [23]	2005	Alpha-track	Peru	Nationwide	1	-	-	600	200	-	-	-
Hadler J, et al. (2008) [30]	1996–1997	Alpha-track	Brazil, Campinas	Municipality	1	Urban	70	286	11.8	80.6	-	-
Santos TO, et al. (2009) [31]	-	Continuous monitoring, electrets	Brazil, Belo Horizonte	Municipality	1	Urban	13	2671.4	18.5	148	128.2	-
Thomas Campos, et al. (2011) [32]	-	Electrets, gamma radiation	Brazil, Lages Pintadas	Municipality	1	Urban and rural	100	3723	20	376	358	-
Campos TFC, et al. (2013) [33]	-	Electrets	Brazil, Lages Pintadas	Municipality	1	Urban rural	210	2893	15	566	291	288
Pereyra P et al. (2015) [40,41]	2014	Alpha-track	Peru, Lima	Province	1	Urban	97	598.25	9.5	183	-	-
Cuadrado C, Carrasco J (2016) [39]	2016	Electronic detector	Ecuador, Riobamba	Municipality	1	Urban	14	95	2	32	-	-
Liza Neciosup RA (2017) [42]	2015–2016	Alpha-track	Peru - Lima, San Martín de Porres	District	1	Urban	125	218.9	103	155.6	154.1	155.1
Vega Cabrera BO (2017) [43]	2015–2017	Alpha-track	Peru-Lima, San Luis	District	1	Urban	84	124	44	68	56	-
Loayza Cabrera MJ (2018) [38]	2017–2018	Alpha-track	Ecuador, Cuenca	Municipality	1	Urban	47	201.11	1.11	35	-	-

* Location: indicates the country of South America (Peru, Ecuador, Venezuela, Brazil, Argentina, Chile, Paraguay, Colombia) or Central America (Costa Rica). ** Areas: Political administrative division or jurisdiction in which the measurements were made (i.e., district, municipality, province, etc.). AM: arithmetic mean; GM: geometric mean; MED: median; –: no data. UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

International Journal of
Environmental Research and Public Health

MDPI

Review

Residential Radon in Central and South America: A Systematic Review

Alexandra Giraldo-Osorio [1,2], Alberto Ruano-Ravina [1,3,*], Leonor Varela-Lema [4], Juan M. Barros-Dios [1] and Mónica Pérez-Ríos [1,3]

Table 2. Governmental regulations, ordinances, or plans governing residential radon exposure and home construction.

Country	Regulation	Year of Publication	Body that Lays down the Regulation	Action Level for Chronic Exposure to Radon in Homes	Building Regulations for Control of Radon Levels
Bolivia (South America)	Supreme Decree 19172: Radiological Protection and Safety Act	1982	Bolivian Institute of Science and Nuclear Technology: the national authority with competence in matters relating to the use of ionizing radiations	Annual concentration of 400 Bq/m^3	Where radon concentrations in home interiors exceed 400 Bq/m^3, engineering solutions must be adopted for ventilating living spaces and reducing emanations of the gas.
Colombia (South America)	Resolution 18–1434: Radiological Protection and Safety Regulations	2002	Ministry of Mines and Energy	Mean annual concentration of 400 Bq/m^3	-
Guatemala (Central America)	Government Resolution No. 55-2001: Radiological Protection and Safety Regulations pursuant to the Control, Use and Application of Radioisotopes and Ionizing Radiations Act	2001	Ministry of Mines and Energy President of the Republic	Optimized action levels are, in general, in line with the guidelines issued by the International Atomic Energy Agency (IAEA), i.e., 200–600 Bq/m^3 (assuming 7000 h per year in interiors and an equilibrium factor of 0.4.)	Management, taking into account the legal and social circumstances applicable, must decide on the compulsoriness of corrective actions for situations of chronic exposure in homes.
Nicaragua (Central America)	Technical Directive No. 001-2011: technical directive, technical regulations for protection against ionizing radiations	2011	National Atomic Energy Commission	It establishes radon limits according to the International Atomic Energy Agency (IAEA) Safety Series No. 115, namely: 200–600 Bq/m^3 (assuming 7000 h per year in interiors and an equilibrium factor of 0.4.)	In situations of chronic exposure in homes, the regulatory authority or intervening body must decide whether the remedial actions are of a mandatory nature or only in the form of a recommendation, taking into account the existing social and legal context.
Paraguay (South America)	National safety regulations for protection against ionizing radiations and safety of radiation sources	2001	Ministry of Public Health and Social Welfare. National Atomic Energy Commission	It establishes radon limits according to the International Atomic Energy Agency (IAEA) Safety Series No. 115, namely: 200–600 Bq/m^3 (assuming 7000 h per year in interiors and an equilibrium factor of 0.4.)	-
Peru (South America)	Supreme Decree No. 009-97-EM: Radiological Safety Regulations	1997	President of the Republic. Peruvian Institute of Nuclear Energy	Mean annual concentration of 200 to 600 Bq/m^3	-
Uruguay (South America)	Resolution 016/2014: Regulation UY 100, basic Radiological Protection and Safety Regulations. 8th Revision	2018	National Radiological Protection Authority. Ministry of Industry, Energy and Mining.	It establishes radon limits according to the International Commission on Radiological Protection (ICRP) 1993 report No 65, namely: 200–600 Bq/m^3 (assuming 7000 h per year in interiors and an equilibrium factor of 0.4.)	

Nueva edición del Código Europeo contra el Cáncer

Octubre, 2014

CÓDIGO EUROPEO CONTRA EL CÁNCER

12 formas de reducir el riesgo de cáncer

1. No fume. No consuma ningún tipo de tabaco.
2. Haga de su casa un hogar sin humo. Apoye las políticas antitabaco en su lugar de trabajo.
3. Mantenga un peso saludable.
4. Haga ejercicio a diario. Limite el tiempo que pasa sentado.
5. Coma saludablemente:
   - Consuma gran cantidad de cereales integrales, legumbres, frutas y verduras.
   - Limite los alimentos hipercalóricos (ricos en azúcar o grasa) y evite las bebidas azucaradas.
   - Evite la carne procesada; limite el consumo de carne roja y de alimentos con mucha sal.
6. Limite el consumo de alcohol, aunque lo mejor para la prevención del cáncer es evitar las bebidas alcohólicas.
7. Evite una exposición excesiva al sol, sobre todo en niños. Utilice protección solar. No use cabinas de rayos UVA.
8. En el trabajo, protéjase de las sustancias cancerígenas cumpliendo las instrucciones de la normativa de protección de la salud y seguridad laboral.
9. Averigüe si está expuesto a la radiación procedente de altos niveles naturales de radón en su domicilio y tome medidas para reducirlos.
10. Para las mujeres:
    - La lactancia materna reduce el riesgo de cáncer de la madre. Si puede, amamante a su bebé.
    - La terapia hormonal sustitutiva (THS) aumenta el riesgo de determinados tipos de cáncer, limítelo. Limite el tratamiento con THS.
11. Asegúrese de que sus hijos participan en programas de vacunación contra:
    - la hepatitis B (los recién nacidos)
    - el papilomavirus virus del papiloma humano (VPH) (las niñas).
12. Participe en programas organizados de cribado del cáncer:
    - colorrectal (hombres y mujeres)
    - de mama (mujeres)
    - cervicouterino (mujeres).

Código latinoamericano contra el cáncer

Código Latinoamericano y Caribeño contra el Cáncer

Sepa cómo ayudar a prevenir el cáncer en usted y su familia

Especialistas en la materia y representantes de la sociedad civil de América Latina y el Caribe, convocados por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), han revisado la evidencia científica y recomiendan las siguientes 17 acciones que pueden hacer las personas para ayudar a prevenir el cáncer:

10. Si existe alta contaminación del aire en su entorno, limite el tiempo que pasa al aire libre.
11. Infórmese si su trabajo le expone a sustancias que puedan producir cáncer, y exija y adopte las medidas de protección recomendadas.
12. La infección por la bacteria *Helicobacter pylori* puede causar cáncer de estómago. Consulte con profesionales de la salud para conocer si usted podría beneficiarse de la detección de la bacteria y el tratamiento de la infección.
13. Las infecciones por virus como los de las hepatitis B y C, el virus del papiloma humano (VPH) y el virus de inmunodeficiencia humana (VIH) también pueden causar cáncer. Por lo tanto:
    - Vacune contra el virus de la hepatitis B a los niños y las niñas durante sus primeras 24 horas de vida. Vacúnese usted y a su familia, a cualquier edad, si no han recibido la vacuna.
    - Vacune contra el virus del papiloma humano (VPH) a las niñas y adolescentes para ayudar a prevenir, principalmente, el cáncer de cuello uterino, así como otros tipos de cáncer. Lleve a cabo esta medida preventiva a las edades recomendadas en su país. Si está disponible, vacune también a los niños.
    - Consulte con profesionales de la salud para conocer si usted podría beneficiarse de la detección y el tratamiento de los virus de la hepatitis B y C para ayudar a prevenir el cáncer de hígado.
    - Hágase la prueba del virus de inmunodeficiencia humana (VIH), y consulte sobre los programas de prevención y tratamiento disponibles en su país.
    - Asegúrese de usar preservativo o condón de manera correcta y sistemática, especialmente con parejas nuevas o casuales.
14. No use reemplazo hormonal para la menopausia, a menos que se lo indique su profesional médico. El reemplazo hormonal puede causar cáncer de mama.

de peso en el niño o la niña.

8. Protéjase de la exposición directa al sol en las horas de mayor intensidad solar para ayudar a prevenir el cáncer de piel.
9. Si cocina o calienta su hogar con carbón o leña, evite la acumulación de humo dentro de su casa.

Radón y cáncer de pulmón. Evidencia en España

Estudio de casos y controles 1992-1994, 400 sujetos. Am J Epidemiol 2002. Financiación FIS.

- Riesgo significativo a partir de 37 Bq/m3 (OR 2,7 y relación dosis respuesta). Fumadores expuestos a radón con riesgo significativo de 46.

Primer estudio epidemiológico en España

American Journal of Epidemiology
Copyright © 2002 by the Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health
All rights reserved

Vol. 156, No. 6
Printed in U.S.A.
DOI: 10.1093/aje/kwf070

Exposure to Residential Radon and Lung Cancer in Spain: A Population-based Case-Control Study

Juan Miguel Barros-Dios[1,2], María Amparo Barreiro[1], Alberto Ruano-Ravina[1], and Adolfo Figueiras[1]

[1] Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine, University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain.
[2] Preventive Medicine Unit, Santiago de Compostela University Teaching Hospital, Santiago de Compostela, Spain.

Received for publication July 26, 2001; accepted for publication May 8, 2002.

Premio al mejor artículo científico de la Sociedad Española de Epidemiología en 2003

Radón y cáncer de pulmón. Evidencia en España

Estudio de casos y controles 2004-2008, 990 sujetos (863 con medición de radón). Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention 2012. Financiación FIS.

- Riesgo significativo a partir de 50 Bq/m3. OR 1.9, dosis respuesta.
- Sinergia aditiva con el consumo de tabaco. Sujetos expuestos a más de 148 Bq/m3 y grandes fumadores OR = 73.

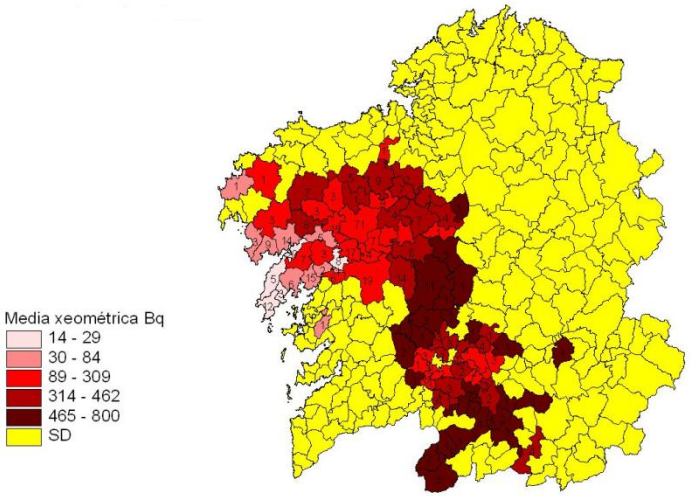
Published OnlineFirst on April 26, 2012; DOI:10.1158/1055-9965.EPI-12-0146-T

Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention

Research Article

Residential Radon Exposure, Histologic Types, and Lung Cancer Risk. A Case–Control Study in Galicia, Spain

Juan Miguel Barros-Dios[1,2,3], Alberto Ruano-Ravina[1,3], Mónica Pérez-Ríos[1,3], Margarita Castro-Bernárdez[4], Jose Abal-Arca[5], and Marta Tojo-Castro[6]



CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Radón residencial y cáncer de pulmón. Efecto del tabaco y del radón

Variable	Cases (n, %)	Controls (n, %)	OR*	CI95%	OR**	CI 95%
Residential radon exposure (Bq/m³)						
< 50	77 (25,0)	184 (38,0)	1	------	1	-------
50. – 100	112 (36,4)	157 (32,4)	1,80	1,25 - 2,60	1.87	1.21 – 2.88
101 – 147	56 (18,2)	69 (14,3)	1,90	1,20 – 2,97	2.25	1.32 – 3.84
> 147	63 (20,5)	74 (15,3)	2,17	1,39 – 3,37	2.21	1.33 – 3.69
Tobacco Consumption						
Never smokers	47 (15,3)	220 (45,5)			1	-------
Lifetime tobacco consumption (first tertile)	42 (13,6)	140 (28,9)			3,57	1,96 – 6,49
Lifetime tobacco consumption (second tertile)	95 (30,8)	82 (16,9)			16,96	9,21 - 31,21
Lifetime tobacco consumption (third tertile)	124 (40,3)	42 (8,7)			37,27	19,81 – 70,21

Radón y cáncer de pulmón en España. Nunca fumadores

Environmental Research 172 (2019) 713–718

Contents lists available at ScienceDirect

Environmental Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/envres

Lung cancer and residential radon in never-smokers: A pooling study in the Northwest of Spain

María Lorenzo-González[a,b,1], Alberto Ruano-Ravina[b,c,d,*], María Torres-Durán[e], Karl T. Kelsey[d], Mariano Provencio[f], Isaura Parente-Lamelas[g], Virginia Leiro-Fernández[e], Iria Vidal-García[h], Olalla Castro-Añón[i], Cristina Martínez[j], Antonio Golpe-Gómez[k], Maruxa Zapata-Cachafeiro[b], María Piñeiro-Lamas[c], Mónica Pérez-Ríos[c,d], José Abal-Arca[g], Carmen Montero-Martínez[h], Alberto Fernández-Villar[e], Juan M. Barros-Dios[b,c,l]

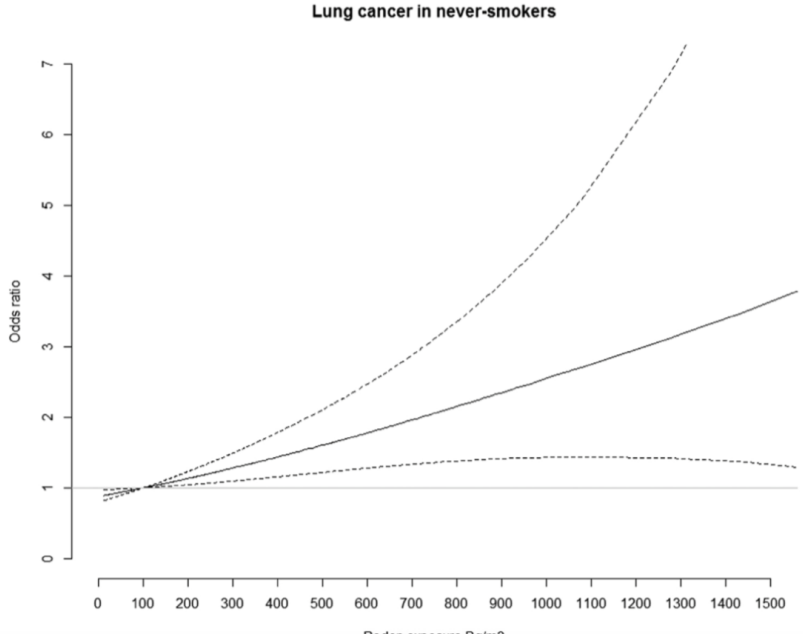
[a] Service of Preventive Medicine, University Hospital Complex of Ourense, Spain
[b] Department of Preventive Medicine and Public Health, University of Santiago de Compostela, Spain
[c] Consortium for Biomedical Research in Epidemiology and Public Health (CIBER en Epidemiología y Salud Pública, CIBERESP), Spain
[d] Department of Epidemiology, Brown School of Public Health, Brown University, Providence, RI, USA
[e] Service of Neumology, University Hospital Complex of Vigo, Spain
[f] Service of Oncology, Puerta de Hierro University Hospital, Madrid, Spain
[g] Service of Neumology, University Hospital Complex of Ourense, Spain
[h] Service of Neumology, University Hospital Complex of A Coruña, Spain
[i] Service of Neumology, Hospital Lucus Augusti, Lugo, Spain
[j] National Institute of Silicosis, University Hospital of Asturias, Oviedo, Spain
[k] Service of Neumology, University Hospital Complex of Santiago de Compostela, Spain
[l] Service of Preventive Medicine, University Hospital Complex of Santiago de Compostela, Spain

523 casos y 892 controles nunca fumadores.

Table 2
Residential radon exposure and risk for lung cancer in never-smokers.

	Radon exposure Bq/m^3			
	≤100	101–147	148–199	≥200
Patients				
Cases	138 (28.2)	86 (17.6)	73 (14.9)	192 (39.3)
Controls	328 (43.7)	138 (18.4)	90 (12.0)	195 (26.0)
OR (95% CI)[1]	1[2]	1.18 (0.83–1.67)	1.38 (0.94–2.03)	1.91 (1.42–2.57)
OR (95% CI)[3]	1[2]	1.14 (0.80–1.64)	1.25 (0.85–1.85)	1.73 (1.27–2.35)
Females				
Cases	105 (27.3)	67 (17.4)	60 (15.6)	153 (39.7)
Controls	122 (31.4)	84 (21.6)	68 (17.5)	114 (29.4)
OR (95% CI)[4]	1[2]	0.94 (0.61–1.44)	0.95 (0.61–1.48)	1.44 (1.00–2.09)
Males				
Cases	33 (31.7)	19 (18.3)	13 (12.5)	39 (37.5)
Controls	206 (56.7)	54 (14.9)	22 (6,1)	81 (22,3)
OR (95% CI)[4]	1[2]	1.70 (0.86–3.35)	2.80 (1.26–6.21)	2.43 (1.40–4.24)
Patients at same dwelling ≥20 years				
Cases	93 (27.8)	58 (17.4)	48 (14.4)	135 (40.4)
Controls	245 (45.2)	97 (17.9)	60 (11.1)	140 (25.8)
OR (95% CI)[3]	1[2]	1.18 (0.76–1.83)	1.36 (0.84–2.19)	1.83 (1.27–2.63)
Patients at same dwelling ≥30 years				
Cases	70 (26.7)	47 (17.9)	39 (14.9)	106 (40.5)
Controls	190 (44.1)	74 (17.2)	53 (12.3)	114 (26.5)
OR (95% CI)[3]	1[2]	1.37 (0.83–2.26)	1.26 (0.74–2.15)	1.76 (1.15–2.67)

Data are presented as n (%) unless otherwise stated.
[1] Adjusted for sex and age.
[2] Reference category
[3] Adjusted for sex, age and environmental tobacco-smoke exposure at home
[4] Adjusted for age and environmental tobacco-smoke at home.



Radón y cáncer de pulmón en España.

Environmental Research 189 (2020) 109968

Contents lists available at ScienceDirect

Environmental Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/envres

Lung cancer risk and residential radon exposure: A pooling of case-control studies in northwestern Spain

María Lorenzo-Gonzalez [a], Alberto Ruano-Ravina [a,b,c,*], María Torres-Duran [d], Karl T. Kelsey [c], Mariano Provencio [e], Isaura Parente-Lamelas [f], María Piñeiro-Lamas [b], Leonor Varela-Lema [g], Monica Perez-Rios [a,b], Alberto Fernandez-Villar [d], Juan M. Barros-Dios [a,b,h]

Table 1
Sample description broken down by case control status.

Variable	Cases	Controls
Number of patients	1842	1862
Median age/25th-75th percentile	67/59-74	62/54-71
Sex		
Female	600 (32.6)	616 (33.1)
Male	1242 (67.4)	1246 (66.9)
Education		
No formal studies	265 (14.7)	244 (13.2)
Primary School	1106 (61.3)	1101 (59.6)
High School	269 (14.9)	327 (17.7)
University degree	165 (9.10)	177 (9.60)
Tobacco consumption*		
Never-smokers	527 (31.6)	965 (53.6)
Light smokers (1–33 pack-years)	228 (13.7)	488 (27.1)
Moderate smokers (34–66 pack-years)	482	241 (13.4)

Table 2
Residential radon exposure and risk of lung cancer.

Variable	Cases n (%)	Controls n (%)	OR* (95% CI)	OR** (95% CI)
Residential radon exposure, Bq/m^3				
≤50	236 (14.7)	357 (21.7)	1 (—)	1 (—)
51–100	389 (24.2)	394 (23.9)	1.53 (1.23–1.91)	1.61 (1.25–2.08)
101–148	290 (18.1)	286 (17.4)	1.53 (1.21–1.94)	1.64 (1.25–2.15)
149–200	204 (12.7)	189 (11.5)	1.60 (1.23–2.09)	1.81 (1.34–2.45)
>200	486 (30.3)	421 (25.6)	1.76 (1.42–2.19)	2.06 (1.61–2.64)
Tobacco consumption				
Never-smokers	527 (31.6)	965 (53.6)		1 (—)
1–33	228 (13.7)	488 (27.1)		1.54 (1.22–1.96)
34–66	482 (28.9)	241 (13.4)		7.10 (5.55–9.10)
>66	433 (25.9)	107 (5.90)		13.7 (10.2–18.4)

*Adjusted by age and sex **Adjusted by age, sex and tobacco consumption.

Radón residencial y supervivencia de cáncer de pulmón

Cancer Letters 487 (2020) 21–26

Contents lists available at ScienceDirect

Cancer Letters

journal homepage: www.elsevier.com/locate/canlet

Lung cancer survival in never-smokers and exposure to residential radon: Results of the LCRINS study

Ana Casal-Mouriño[a,b,1], Alberto Ruano-Ravina[b,c,*], María Torres-Durán[d], Isaura Parente-Lamelas[e], Mariano Provencio-Pulla[f], Olalla Castro-Añón[g], Iria Vidal-García[h], Carolina Pena-Álvarez[i], José Abal-Arca[e], María Piñeiro-Lamas[c], Ismael Fuente-Merino[j], Alberto Fernández-Villar[d], Ihab Abdulkader[k], Luis Valdés-Cuadrado[a,l], Juan Miguel Barros-Dios[b,c,m], Mónica Pérez-Ríos[b,c]

Primer estudio en observar menor supervivencia asociada a la mayor exposición a radón residencial

Table 3
Multivariate results of survival at 3 and 5 years of follow-up.

	Survival at 3 years of follow-up				Survival at 5 years of follow-up			
Variable	Bivariate Cox Analysis		Multivariate Cox Analysis		Bivariate Cox Analysis		Multivariate Cox Analysis	
	HR (IC 95%)	p-value	HR (IC 95%)	p-value	HR (IC 95%)	p-value	HR (IC 95%)	p-value
Sex								
Women	1				1			
Men	1.04 (0.77–1.41)	0.784			1.18 (0.89–1.56)	0.259		
Age at diagnosis	1.03 (1.02–1.04)	< 0.001	1.02 (1.01–1.04)	< 0.001	1.03 (1.02–1.04)	< 0.001	1.03 (1.02–1.04)	< 0.001
Histological type								
Adenocarcinoma	1		1		1		1	
Squamous	1.76 (1.16–2.65)	0.007	1.91 (1.20–3.04)	0.006	1.83 (1.24–2.70)	0.002	1.87 (1.22–2.88)	0.004
Small cell	1.69 (1.04–2.74)	0.034	1.61 (0.92–2.82)	0.097	1.66 (1.04–2.65)	0.035	1.23 (0.73–2.08)	0.440
Large cell	1.03 (0.38–2.76)	0.958	2.20 (0.80–6.05)	0.125	0.89 (0.33–2.39)	0.816	2.07 (0.76–5.69)	0.156
Other	0.58 (0.27–1.23)	0.158	0.45 (0.18–1.14)	0.091	0.60 (0.29–1.21)	0.149	0.53 (0.23–1.22)	0.135
Stage at diagnosis								
I	1		1		1		1	
II	2.59 (1.14–5.87)	0.023	3.47 (1.35–8.91)	0.010	2.81 (1.28–6.17)	0.010	3.67 (1.51–8.94)	0.004
III	2.39 (1.19–4.78)	0.014	1.94 (0.90–4.18)	0.092	2.69 (1.39–5.20)	0.003	2.29 (1.11–4.74)	0.026
IV	5.98 (3.25–11.00)	< 0.001	3.59 (1.76–7.30)	< 0.001	7.00 (3.90–12.56)	< 0.001	4.91 (2.49–9.72)	< 0.001
Residential radon								
< 300Bq/m2	1		1		1		1	
≥300Bq/m2	1.11 (0.82–1.49)	0.508	1.41 (1.04–1.92)	0.030	1.07 (0.81–1.43)	0.624	1.42 (1.06–1.90)	0.020
Surgery								
Yes	1		1		1		1	
No	5.42 (3.46–8.50)	< 0.001	3.80 (2.06–7.01)	< 0.001	5.20 (3.48–7.77)	< 0.001	3.16 (1.84–5.41)	< 0.001
Chemotherapy								
Yes	1		1		1		1	
No	1.33 (1.04–1.71)	0.023	1.70 (1.24–2.32)	< 0.001	1.23 (0.97–1.56)	0.090	1.70 (1.28–2.27)	< 0.001

Radón y cáncer de pulmón

Mecanismos moleculares

Radón y cáncer de pulmón. Mecanismos moleculares

- No se conocen totalmente los mecanismos por los que el radón puede causar cáncer de pulmón
- No hay una diana molecular identificada
- Se especula con el daño al ADN y el daño a genes reparadores de ADN
- Puede haber cierta susceptibilidad genética al efecto del radón.
- La radiación alfa no necesita entrar en una célula para producir alteraciones moleculares.
- Si impacta en la célula, puede generar un daño elevado (15.000 km/h).



original article

Annals of Oncology 19: 109–114, 2008
doi:10.1093/annonc/mdm395
Published online 25 September 2007

Analysis of the relationship between p53 immunohistochemical expression and risk factors for lung cancer, with special emphasis on residential radon exposure

A. Ruano-Ravina[1,2*], R. Pérez-Becerra[3], M. Fraga[3], K. T. Kelsey[4] & J. M. Barros-Dios[1,5]

[1]*Department of Preventive Medicine and Public Health, University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela;* [2]*Galician Agency for Health Technology Assessment, Galician Department of Health Santiago de Compostela;* [3]*Department of Pathological Anatomy, Santiago de Compostela Clinical University Hospital, Santiago de Compostela Spain;* [4]*Department of Genetics and Complex Diseases, Harvard School of Public Health, Harvard University Boston, MA, USA;* [5]*Preventive Medicine Service, Santiago de Compostela Clinical University Hospital, Santiago de Compostela Spain*

Mecanismos biológicos del radón en el cáncer de pulmón

ORIGINAL ARTICLE
LUNG CANCER

Eur Resp Journal 2016

Residential radon, *EGFR* mutations and *ALK* alterations in never-smoking lung cancer cases

Alberto Ruano-Ravina[1,2,3], María Torres-Durán[4], Karl T. Kelsey[3], Isaura Parente-Lamelas[5], Virginia Leiro-Fernández[4], Ihab Abdulkader[6], José Abal-Arca[5], Carmen Montero-Martínez[7], Iria Vidal-García[7], Margarita Amenedo[8], Olalla Castro-Añón[9], Antonio Golpe-Gómez[10],

ORIGINAL ARTICLE

J Thor Oncol 2015

Genetic Susceptibility, Residential Radon, and Lung Cancer in a Radon Prone Area

Alberto Ruano-Ravina, PharmD, MPH, PhD,† Marco F. Pereyra, MD,‡ Marta Tojo Castro, MSc, PhD,§‖ Mónica Pérez-Ríos, PharmD, MPH, PhD,*† José Abal-Arca, MD,¶ and Juan Miguel Barros-Dios, MD, MPH, PhD*†#*

Lung Cancer 135 (2019) 10–15

Contents lists available at ScienceDirect

Lung Cancer

journal homepage: www.elsevier.com/locate/lungcan

Lung Cancer 2019

Residential radon, genetic polymorphisms in DNA damage and repair-related*

María Lorenzo-González[a,b], Alberto Ruano-Ravina[b,c,d,*], María Torres-Durán[e], Karl T. Kelsey[d], Mariano Provencio[f], Isaura Parente-Lamelas[g], Virginia Leiro-Fernández[e], Iria Vidal-García[h], Olalla Castro-Añón[i], Cristina Martínez[j], Antonio Golpe-Gómez[k], María Torres-Español[l], José Abal-Arca[g], Carmen Montero-Martínez[h], Alberto Fernández-Villar[e], Juan M. Barros-Dios[b,c,m]

J Thor Oncol 2016

COMMENTARY

Residential Radon: The Neglected Risk Factor in Lung Cancer Risk Scores

María Torres-Duran, MD, PhD,[a] Alberto Fernandez-Villar, MD, PhD,[a] Juan Miguel Barros-Dios, MD, PhD,[b,c,d] Alberto Ruano-Ravina, PharmD, MPH, PhD[c,d,*]

Eur Resp J 2016

ORIGINAL ARTICLE
LUNG CANCER

Small cell lung cancer in never-smokers

María Torres-Durán[1], Alberto Ruano-Ravina[2,3,4], Karl T. Kelsey[4], Isaura Parente-Lamelas[5], Mariano Provencio[6], Virginia Leiro-Fernández[1], José Abal-Arca[5], Carmen Montero-Martínez[7], Iria Vidal-Garcia[7], Carolina Pena[8], Olalla Castro-Añón[9], Antonio Golpe-Gómez[10], Cristina Martínez[11], Rosirys Guzmán-Taveras[11], María José Mejuto-Martí[12], Alberto Fernández-Villar[1] and Juan Miguel Barros-Dios[2,3,13]

Int J Radiat Biol 2015

Just Accepted by *International Journal of Radiation Biology*

Residential radon and lung cancer characteristics in never smokers

María Torres-Durán, Alberto Ruano-Ravina, Isaura Parente-Lamelas, Virginia Leiro-Fernández, Jose Abal-Arca, Carmen Montero-Martínez, Carolina Pena-Álvarez, Olalla Castro-Añón, Antonio Golpe-Gómez, Cristina Martínez, Rosirys Guzmán-Taveras, María Jose Mejuto-Marti, Mariano Provencio, Iberto Fernández-Villar, Juan Miguel Barros-Dios

DOI: 10.3109/09553002.2015.1047985

ABSTRACT:

Purpose: The aim of this study is to assess if there is a relationship between residential radon and lung cancer histological types and patients' age at diagnosis.

Materials and Methods: We conducted a multicenter hospital-based

ORIGINAL RESEARCH

Small-cell lung cancer in never-smokers☆

M. Torres-Durán[1], M. T. Curiel-García[2], A. Ruano-Ravina[3,4,5*], M. Provencio[6], I. Parente-Lamelas[7], J. Hernández-Hernández[8], A. Fernández-Villar[1], J. M. Barros-Dios[3,4,5] & M. Pérez-Ríos[3,4,5]

Radón y susceptibilidad genética

- Los genes GSTM1 y GSTT1 detoxifican compuestos carcinogénicos presentes en el tabaco o en algunas ocupaciones haciéndolos más hidrosolubles.
- Ambos están deleccionados aproximadamente en el 50 y 20% de los caucásicos.
- Los sujetos con uno o ambos genes ausentes presentan mayor riesgo de cáncer de pulmón.
- Se pretende conocer si la ausencia de estos genes aumenta el riesgo de cáncer de pulmón debido al radón residencial.

Resultados. Radón residencial y susceptibilidad genética

ORIGINAL ARTICLE

Genetic Susceptibility, Residential Radon, and Lung Cancer in a Radon Prone Area

Alberto Ruano-Ravina, PharmD, MPH, PhD,† Marco F. Pereyra, MD,‡ Marta Tojo Castro, MSc, PhD,§‖ Mónica Pérez-Ríos, PharmD, MPH, PhD,*† José Abal-Arca, MD,¶ and Juan Miguel Barros-Dios, MD, MPH, PhD*†#*

Effect of GSTM1 and GSTT1 deletion on lung cancer risk

	Cases	Controls	Crude OR (95% CI)	Adjusted OR* (95% CI)
GSTM1	158	291	1 (----)	1 (----)
GSTM1 null	125	192	1.15 (0.83-1.59)	1.38 (0.93-2.04)
GSTT1	211	384	1 (----)	1 (----)
GSTT1 null	56	91	1.10 (0.74-1.63)	1.13 (0.70-1.82)

*Adjusted for age, gender, tobacco consumption in four categories, indoor radon exposure in four categories and for all polymorphisms

CRETUS

ciberesp Centro de Investigación Biomédica en Red Epidemiología y Salud Pública

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Genes de susceptibilidad. Resultados

Radon exposure, GSTM1 deletion and lung cancer risk

Indoor Radon exposure (Bq/m^3)	GSTM1 (cases, controls); OR♯ (95% CI)	
	Present	Null
0-50	42, 98 1 (----)	30, 84 0,87 (0,45-1,69)
51-100	59, 103 1,32 (0,73-2,39)	47, 58 2,31 (1,19-4,47)
101-147	27, 42 1,58 (0,77-3,27)	22, 27 2,36 (0,97-5,76)
>147	30, 48 1,48 (0,73-3,00)	26, 23 2,64 (1,18-5,91)

♯Adjusted for age, sex and tobacco consumption

ORIGINAL ARTICLE

Genetic Susceptibility, Residential Radon, and Lung Cancer in a Radon Prone Area

Alberto Ruano-Ravina, PharmD, MPH, PhD,† Marco F. Pereyra, MD,‡ Marta Tojo Castro, MSc, PhD,§‖ Mónica Pérez-Ríos, PharmD, MPH, PhD,*† José Abal-Arca, MD,¶ and Juan Miguel Barros-Dios, MD, MPH, PhD*†#*

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Genes de susceptibilidad. Resultados

Radon exposure, GSTT1 deletion and lung cancer risk

Indoor Radon exposure (Bq/m^3)	GSTT1 (cases, controls); OR♯ (95% CI)	
	Present	Null
0-50	58, 136 1 (----)	11, 44 0,51 (0,21-1,22)
51-100	73, 139 1,31 (0,78-2,20)	26, 18 3,73 (1,56-8,94)
101-147	36, 55 1,45 (0,75-2,78)	10, 13 3,64 (1,21-11,01)
>147	44, 54 1,95 (1,04-3,65)	9, 16 1,09 (0,39-3,08)

♯Adjusted for age, sex and tobacco consumption

ORIGINAL ARTICLE

Genetic Susceptibility, Residential Radon, and Lung Cancer in a Radon Prone Area

Alberto Ruano-Ravina, PharmD, MPH, PhD,† Marco F. Pereyra, MD,‡ Marta Tojo Castro, MSc, PhD,§‖ Mónica Pérez-Ríos, PharmD, MPH, PhD,*† José Abal-Arca, MD,¶ and Juan Miguel Barros-Dios, MD, MPH, PhD*†#*

CRETUS

ciberesp Centro de Investigación Biomédica en Red Epidemiología y Salud Pública

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

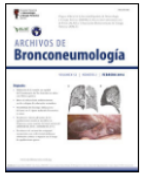
Genes reparadores de DNA. Resultados

Archivos de Bronconeumología 58 (2022) 311–322

Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica SEPAR

ARCHIVOS DE Bronconeumología

www.archbronconeumol.org



Original Article

Radon, Tobacco Exposure and Non-Small Cell Lung Cancer Risk Related to BER and NER Genetic Polymorphisms☆

José Ramón Enjo-Barreiro[a,b,c], Alberto Ruano-Ravina[b,c,d,*], Mónica Pérez-Ríos[b,c,d], Karl Kelsey[e], Leonor Varela-Lema[b], María Torres-Durán[f], Isaura Parente-Lamelas[g], Mariano Provencio-Pulla[h], Iria Vidal-García[i], María Piñeiro-Lamas[c], José A. Fernández-Villar[g], Juan M. Barros-Dios[a,b,c]

Table 1
Sample description broken down by case–control status.

Variable	Cases, *n* (%)	Controls, *n* (%)
Number of patients	826 (40.7%)	1201 (59.3%)
Median age (range)/25-75th percentile	67 (25–94)/59–74	64 (21–92)/56–72

Polymorphisms	Cases, controls; OR[a] (95%CI)					
	Indoor radon exposure (Bq/m3)					
	≤200	p[b]	p-c[c]	>200	p[b]	p-c[c]
ERCC5_rs1047768						
TC	131, 208			89, 104		
	1 (–)			1.39 (0.94–2.04)	0.0972	0.2657
CC	86, 146			64, 83		
	0.98 (0.68–1.41)	0.9136	0.7472	1.34 (0.88–2.05)	0.1737	0.3679
TT	51, 86			25, 50		
	0.87 (0.55–1.34)	0.5236	0.6288	0.66 (0.37–1.16)	0.1506	0.3411
OGG1_Ser326Cys_rs1052133						
CC	231, 374			160, 203		
	1 (–)			1.27 (0.97–1.68)	0.0843	0.2444
CG	117, 211			92, 96		
	0.87 (0.65–1.17)	0.3637	0.5405	1.53 (1.09–2.16)	0.0145	0.075
GG	18, 42			11, 20		
	0.64 (0.35–1.15)	0.146	0.3355	0.78 (0.34–1.69)	0.5404	0.6361
FATS_C10orf90_rs11245007						
CT	134, 198			73, 103		
	1 (–)			1.03 (0.69–1.53)	0.8875	0.7416
CC	118, 202			87, 109		
	0.82 (0.59–1.15)	0.2559	0.4529	1.14 (0.77–1.67)	0.515	0.6249
TT	16, 41			18, 25		
	0.57 (0.29–1.08)	0.092	0.2574	1.22 (0.6–2.43)	0.5814	0.6528
APEX1_rs1130409						
GT	135, 206			73, 123		
	1 (–)			1 (0.68–1.47)	0.7598	0.7638
TT	71, 125			54, 62		
	1.06 (0.71–1.56)	0.7868	0.7179	1.4 (0.89–2.22)	0.1458	0.3352
GG	62, 110			51, 52		
	0.94 (0.63–1.42)	0.7834	0.717	1.68 (1.04–2.73)	0.0341	0.1341
ERCC1_rs11615						
CC	90, 159			63, 67		
	1 (–)			1.73 (1.1–2.59)	0.0155	0.0785
CT	137, 261			111, 152		
	0.97 (0.69–1.38)	0.8823	0.7405	1.34 (0.92–1.94)	0.1257	0.3085
TT	140, 208			90, 100		
	1.24 (0.87–1.77)	0.2274	0.4238	1.65 (1.1–2.48)	0.0158	0.0796

Radón y otros tumores

Radon y tumores cerebrales

Estudio danés

Estudio de cohortes en Dinamarca que observa una relación entre tumores Cerebrales y radón residencial. 121 casos, 57,000 participantes

La tasa de inidencia ajustada para tumor cerebral primario por cada 100 Bq/m3 fue de 1.96 (95% CI: 1.07; 3.58).

Exposición a radon a través de modelos

Estudio suizo

Estudio de cohortes en niños menores de 16 años

997 cánceres infantiles. No hay asociación para ningún cáncer, incluyendo los del sistema nervioso central

Radón y tumores cerebrales

www.nature.com/scientificreports

SCIENTIFIC REPORTS

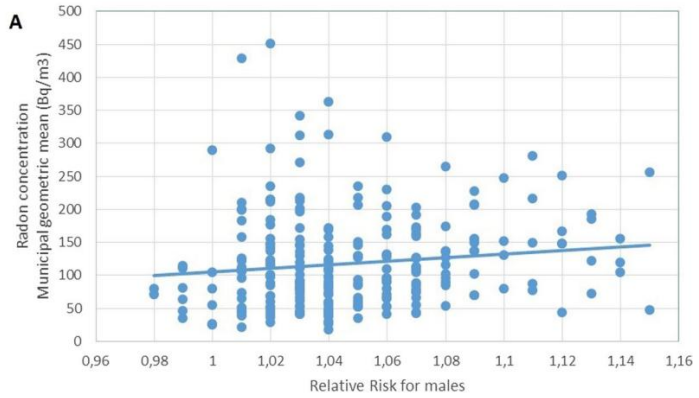
OPEN

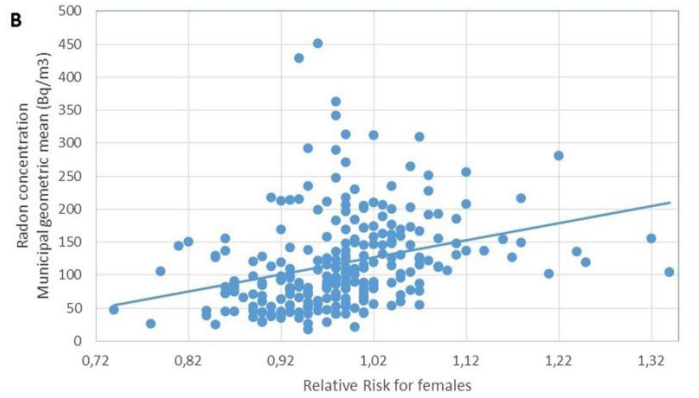
Residential radon exposure and brain cancer: an ecological study in a radon prone area (Galicia, Spain)

ł: 5 January 2017
d: 5 May 2017

Alberto Ruano-Ravina[1,2,3], Nuria Aragonés[2,4], Karl T. Kelsey[3], Mónica Pérez-Ríos[1,2], María Piñeiro-Lamas[2], Gonzalo López-Abente[2,4] & Juan M. Barros-Dios[1,2,5]

ificreports/





Science of the Total Environment 610–611 (2018) 1125–1132

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Residential radon and cancer mortality in Galicia, Spain

Gonzalo López-Abente [a,b,*], Olivier Núñez [a,b], Pablo Fernández-Navarro [a,b], Juan M. Barros-Dios [b,c,d], Iván Martín-Méndez [e], Alejandro Bel-Lan [e], Juan Locutura [e], Luis Quindós [f], Carlos Sainz [f], Alberto Ruano-Ravina [b,c,d]

[a] Cancer and Environmental Epidemiology Unit, National Epidemiology Center, Carlos III, Institute of Health, Avda. Monforte de Lemos 5, 28029 Madrid, Spain
[b] Consortium for Biomedical Research in Epidemiology and Public Health (CIBER en Epidemiología y Salud Pública - CIBERESP), Spain
[c] Department of Preventive Medicine and Public Health, University of Santiago de Compostela, School of Medicine, San Francisco Street, 15782 Santiago de Compostela, Galicia, Spain
[d] Preventive Medicine Unit, Santiago de Compostela Clinic University Hospital, Santiago de Compostela, Galicia, Spain

Table 3
Indoor radon and cancer mortality for different tumor sites, relative risk and 95% credibility intervals for a twofold increase in exposure: results from four geospatial regression models for misaligned data.

Men	Unadjusted		Soc		Soc + As		Soc + As + altitude	
	RR	95% CI	RR	95% CI	RR	95% CI	RR	95% CI
Lung	0.958	0.886, 1.037	0.98	0.910, 1.057	0.984	0.914, 1.057	0.973	0.906, 1.043
Buccal cavity and pharynx	1.074	0.946, 1.219	1.043	0.919, 1.189	1.036	0.914, 1.179	1.039	0.914, 1.181
Oesophagus	0.983	0.839, 1.121	0.988	0.894, 1.100	0.977	0.885, 1.086	0.984	0.890, 1.091
Stomach	1.083	0.952, 1.206	1.092	0.979, 1.219	1.098	0.991, 1.224	1.084	0.977, 1.206
Pancreas	1.029	0.912, 1.152	1.032	0.924, 1.161	1.038	0.925, 1.152	1.009	0.919, 1.095
Colorectal	0.978	0.918, 1.054	0.988	0.930, 1.060	0.995	0.936, 1.061	0.993	0.935, 1.060
Prostate	0.92	0.848, 0.988	0.94	0.859, 1.018	0.943	0.869, 1.011	0.940	0.864, 1.009
Bladder	0.93	0.795, 1.041	0.95	0.856, 1.053	0.951	0.858, 1.060	0.946	0.875, 1.053
Kidney	1.092	0.903, 1.285	1.131	0.989, 1.292	1.129	0.984, 1.284	1.122	0.980, 1.279
Brain	1.042	0.932, 1.160	1.039	0.924, 1.169	1.044	0.928, 1.172	1.045	0.930, 1.175
Thyroid	1.168	0.824, 1.630	1.086	0.755, 1.570	1.048	0.726, 1.534	1.046	0.721, 1.529
NHL	0.987	0.870, 1.096	1.060	0.937, 1.179	1.039	0.929, 1.162	1.036	0.927, 1.160
Leukemias	0.946	0.853, 1.052	0.969	0.865, 1.079	0.960	0.861, 1.071	0.951	0.856, 1.069
Women	**Unadjusted**		**Soc**		**Soc + As**		**Soc + As + altitude**	
	RR	95% CI	RR	95% CI	RR	95% CI	RR	95% CI
Lung	1.087	0.977, 1.276	**1.100**	**1.004, 1.232**	**1.101**	**1.008, 1.231**	**1.094**	**1.000, 1.231**
Buccal cavity and pharynx	1.122	0.918, 1.367	1.091	0.872, 1.342	1.075	0.864, 1.322	1.068	0.857, 1.314
Oesophagus	1.110	0.873, 1.391	1.087	0.834, 1.410	1.075	0.837, 1.365	1.059	0.828, 1.353
Stomach	**1.142**	**1.001, 1.301**	**1.185**	**1.039, 1.339**	**1.182**	**1.037, 1.334**	**1.174**	**1.022, 1.325**
Pancreas	0.996	0.868, 1.132	1.017	0.894, 1.159	1.020	0.900, 1.157	0.999	0.889, 1.119
Colorectal	0.970	0.959, 0.978	0.997	0.935, 1.062	0.99	0.931, 1.054	0.991	0.932, 1.056
Breast	0.967	0.877, 1.065	0.970	0.872, 1.056	0.968	0.869, 1.040	0.963	0.871, 1.034
Bladder	1.128	0.904, 1.391	**1.172**	**1.008, 1.381**	1.139	0.976, 1.332	1.130	0.969, 1.323
Kidney	1.041	0.870, 1.262	1.137	0.949, 1.419	1.117	0.933, 1.375	1.113	0.916, 1.375
Brain	**1.220**	**1.205, 1.244**	**1.305**	**1.147, 1.547**	**1.285**	**1.130, 1.495**	**1.283**	**1.128, 1.498**
Thyroid	0.889	0.687, 1.164	0.949	0.729, 1.234	0.944	0.721, 1.236	0.95	0.733, 1.240
NHL	1.099	0.954, 1.277	1.100	0.939,1.236	1.072	0.875, 1.217	1.066	0.868, 1.211
Leukemias	1.004	0.894, 1.122	1.032	0.915, 1.165	1.040	0.927, 1.187	1.054	0.933, 1.191

Radón y tumores cerebrales. El estudio RADONBRAIN

Estudio de casos y controles de base hospitalaria

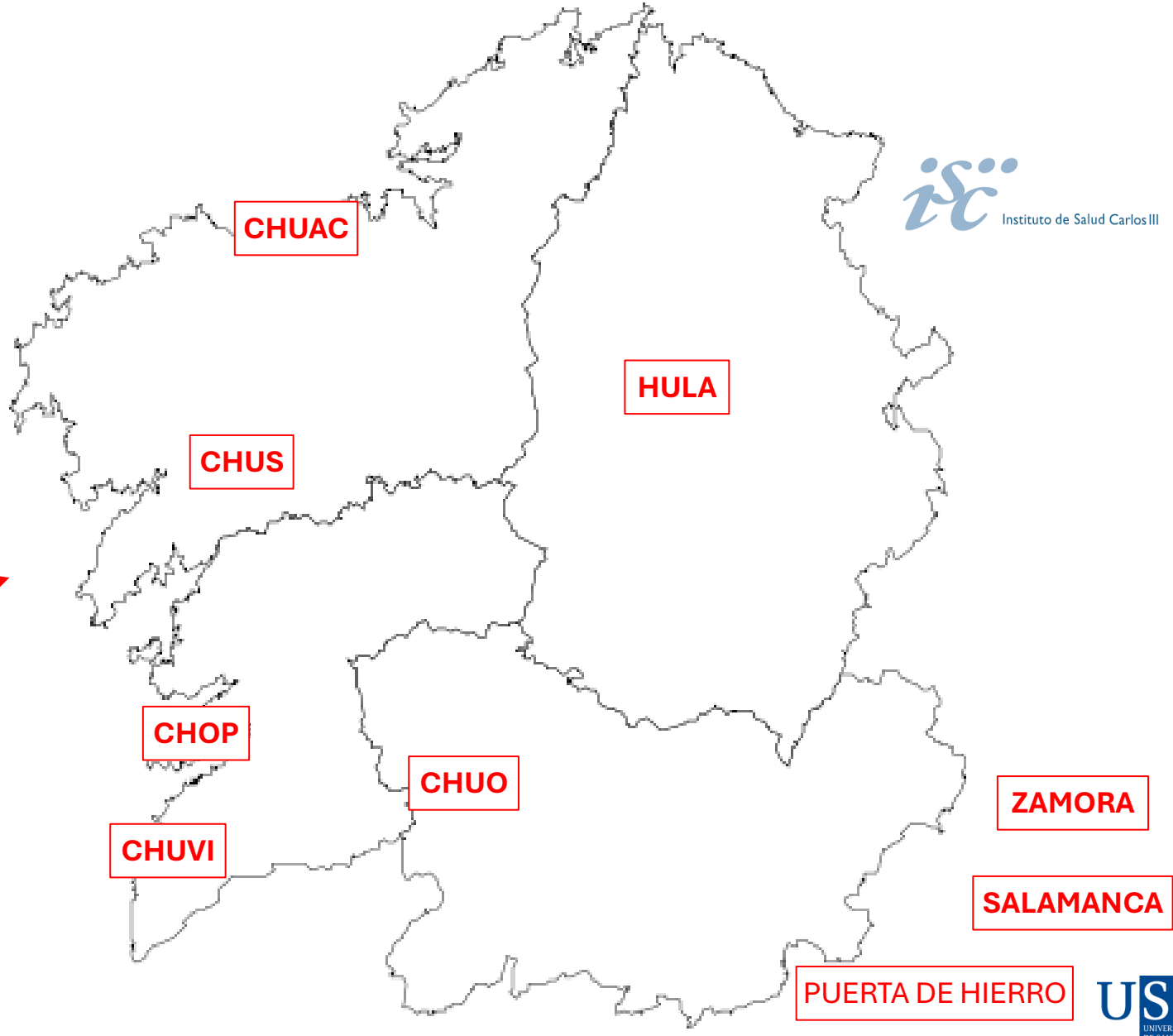
Estudio multicéntrico: 9 hospitales

Reclutamiento actual (28/7/25)

247 casos (177 gliomas)

280 controles (seleccionados empleando muestreo por frecuencia de sexo y edad respecto a los casos)





Instituto de Salud Carlos III

CRETUS

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Radón y tumores cerebrales. El estudio RADONBRAIN

N = 86 pacientes

No hay diferencias relevantes ni por tipo de tumor ni por sexo

La concentración de radón es similar a la concentración media de la población en Galicia

	N	Mean age (years)	Radon concentration (Bq/m3)	
			median	range
Men	41	58	115	1030 - 18
♂ Glioma	35	57	115	1030 - 18
♂ Meningioma	6	64	106	213 - 42
Women	45	60	74	786 - 15
♀ Glioma	31	57	77	786 - 15
♀ Meningioma	14	65	70	519 - 19
Global	86	59	89	1030 - 15

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

¿Puede existir relación entre radón y otros tumores?

International Journal of Radiation Biology, April 2014; 90(4): 299–305
© 2014 Informa UK, Ltd.
ISSN 0955-3002 print / ISSN 1362-3095 online
DOI: 10.3109/09553002.2014.886792

informa
healthcare

Residential radon exposure and esophageal cancer. An ecological study from an area with high indoor radon concentration (Galicia, Spain)

Alberto Ruano-Ravina[1,2], Nuria Aragonés[2,3], Mónica Pérez-Ríos[1,2,4], Gonzalo López-Abente[2,3] & Juan M. Barros-Dios[1,2,5]

[1]*Department of Preventive Medicine and Public Health, University of Santiago de Compostela,* [2]*CIBER de Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP),* [3]*Environmental and Cancer Epidemiology Unit, National Centre for Epidemiology, Carlos III Institute of Public Health, Madrid,* [4]*Epidemiology Service, Health Department, Xunta de Galicia, and* [5]*Preventive Medicine Unit, Santiago de Compostela Clinic University Hospital, Spain*

Radón y cáncer de esófago

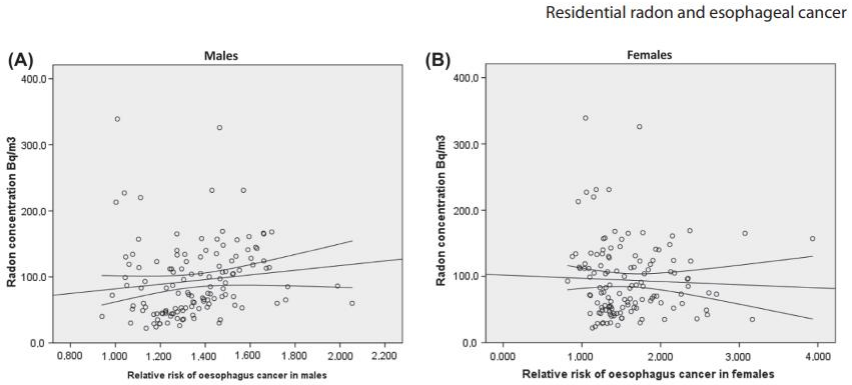


Figure 3. Scatterplot between municipal residential radon concentration and esophageal cancer mortality, for males and females.

Cancer Letters ■■ (2015) ■■–■■

Contents lists available at ScienceDirect

Cancer Letters

journal homepage: www.elsevier.com/locate/canlet

Mini-review

Radon exposure and oropharyngeal cancer risk

Tania Salgado-Espinosa [a], Juan Miguel Barros-Dios [a,b,c], Alberto Ruano-Ravina [a,b,*]

[a] *Department of Preventive Medicine and Public Health, University of Santiago de Compostela, Spain*
[b] *CIBER de Epidemiología y Salud Pública, CIBERESP, Spain*
[c] *Service of Preventive Medicine, University Hospital Complex of Santiago de Compostela, Spain*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 17 June 2015
Received in revised form 18 August 2015
Accepted 19 August 2015

Keywords:
Oropharyngeal neoplasms
Systematic review
Radon

ABSTRACT

Oropharyngeal cancer is a multifactorial disease. Alcohol and tobacco are the main risk factors. Radon is a human carcinogen linked to lung cancer risk, but its influence in other cancers is not well known. We aim to assess the effect of radon exposure on the risk of oral and pharyngeal cancer through a systematic review of the scientific literature. This review performs a qualitative analysis of the available studies. 13 cohort studies were included, most of them mortality studies, which analysed the relationship between occupational or residential radon exposure with oropharyngeal cancer mortality or incidence. Most of the included studies found no association between radon exposure and oral and pharyngeal cancer. This lack of effect was observed in miners studies and in general population studies. Further research is necessary to quantify if this association really exists and its magnitude, specially performing studies in general population, preferably living in areas with high radon levels.
© 2015 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

Radón y cáncer oral y de faringe

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

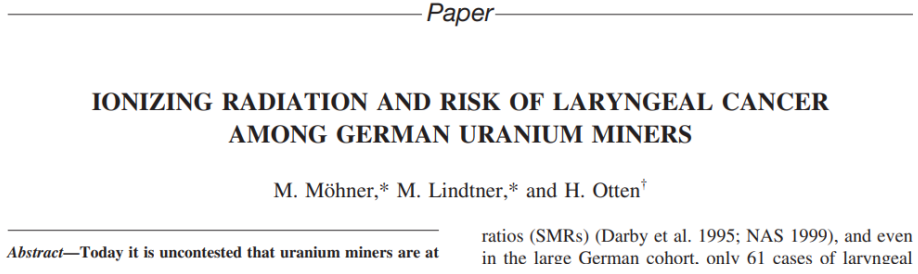
¿Puede existir relación entre radón y otros tumores?

Carcinoma nasal. No hay evidencia

Radón y cáncer de labio. No hay evidencia

Radón y cáncer de laringe. Sólo estudios en mineros. Resultados inciertos

Piel no melanoma. Estudios en población general



Paper

IONIZING RADIATION AND RISK OF LARYNGEAL CANCER AMONG GERMAN URANIUM MINERS

M. Möhner,* M. Lindtner,* and H. Otten†

Abstract—Today it is uncontested that uranium miners are at

ratios (SMRs) (Darby et al. 1995; NAS 1999), and even in the large German cohort, only 61 cases of laryngeal



PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

Residential Radon Exposure and Skin Cancer Incidence in a Prospective Danish Cohort

Elvira Vaclavik Bräuner[1,2]*, Steffen Loft[3], Mette Sørensen[2], Allan Jensen[4], Claus Erik Andersen[5], Kaare Ulbak[6], Ole Hertel[7], Camilla Pedersen[2], Anne Tjønneland[2], Susanne Krüger Kjær[4,7], Ole Raaschou-Nielsen[2,8]

1 Research Center of Prevention and Heath, Center of Health, Capital region of Denmark, Glostrup Hospital, Glostrup, Denmark, 2 Diet, Genes and Environment, Danish Cancer Society Research Centre, Copenhagen, Denmark, 3 Department Public Health, Section of Environmental Health, Faculty of Health Sciences, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark, 4 Virus, Lifestyle and Genes, Danish Cancer Society Research Centre, Copenhagen, Denmark, 5 Center for Nuclear Technologies, Technical University of Denmark, Roskilde, Denmark, 6 National Institute of Radiation Protection, Herlev, Denmark, 7 Department of Gynecology, Rigshospitalet, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark, 8 Department of Environmental Science, Aarhus University, Aarhus, Denmark

* elvira.vaclavik.braeuner@regionh.dk

CrossMark

Estudio de cohortes



BJC

FULL PAPER

British Journal of Cancer (2013) 109, 235–241 | doi: 10.1038/bjc.2013.288

Keywords: non-melanoma skin cancer; radon; arsenic; ecological study; England

Geography of non-melanoma skin cancer and ecological associations with environmental risk factors in England

B W Wheeler*[,1], G Kothencz[1] and A S Pollard[1,2]

[1]European Centre for Environment and Human Health, University of Exeter Medical School, Royal Cornwall Hospital, Truro TR1 3HD, UK and [2]Royal Cornwall Hospitals Trust, Truro, TR1 3HD, UK

Estudio ecológico

CRETUS

ciberesp Centro de Investigación Biomédica en Red Epidemiología y Salud Pública

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Radón y otros tumores.

Estudio de cohortes poblacional.

Barbosa-Lorenzo.
J Clin Epidemiol. 2016

	Crude model		Adjusted model[a]	
	Cases, cohort subjects	HR (95%CI)	Cases, cohort subjects	HR (95%CI)
Lymphatic and hematopoietic tissue (except leukemia)				
<50 Bq/m^3	3, 692	1.0	2, 680	1.0
≥50 Bq/m^3	8, 1227	1.6 (0.4 - 5.9)	8, 1208	2.1 (0.4 - 10.9)
Bladder and others of the urinary tract				
<50 Bq/m^3	7, 696	1.0	7, 685	1.0
≥50 Bq/m^3	6, 1225	0.5 (0.2 - 1.6)	6, 1206	0.6 (0.2 - 1.9)
Prostate				
<50 Bq/m^3	10, 382	1.0	10,375	1.0
≥50 Bq/m^3	31, 717	1.8 (0.9 - 3.6)	30, 702	2.0 (0.9 - 4.1)
Breast				
<50 Bq/m^3	3, 320	1.0	3, 316	1.0
≥50 Bq/m^3	12, 545	2.3 (0.6 - 8.0)	12, 540	2.4 (0.7 -8.6)
Connective tissue and others of the skin (except melanoma)				
<50 Bq/m^3	7, 696	1.0	7, 685	1.0
≥50 Bq/m^3	18, 1237	1.5 (0.6 - 3.7)	18, 1218	1.5 (0.6 - 3.8)
Colorectal				
<50 Bq/m^3	11, 700	1.0	11, 689	1.0
≥50 Bq/m^3	18, 1237	1.0 (0.4 - 2.0)	17, 1217	1.0 (0.5 - 2.1)
Stomach				
<50 Bq/m^3	1, 690	1.0	1, 679	1.0
≥50 Bq/m^3	11, 1230	6.7 (0.9 - 51.5)	11, 1211	10.8 (1.2 - 98.0)

Radón y cáncer de estómago.

Estudio ecológico en proceso (en Galicia)

Revisión sistemática en proceso

¿Es necesario realizar un estudio de casos y controles?



International Journal of Epidemiology, 2017, 1–2
doi: 10.1093/ije/dyx011
Letter to the Editor

Letter to the Editor

Radon and stomach cancer

Raquel Barbosa-Lorenzo,[1,2] Juan M. Barros-Dios[1,3,4] and Alberto Ruano-Ravina[1,4,*]

[1]Department of Preventive Medicine & Public Health, University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain, [2]Preventive Medicine and Public Health Unit, Monforte de Lemos Local Hospital, Monforte de Lemos, Spain, [3]Preventive Medicine and Public Health Unit, Santiago de Compostela University Teaching Hospital, Santiago de Compostela, Spain and [4]Consortium for Biomedical Research in Epidemiology & Public Health (CIBER en Epidemiología y Salud Pública - CIBERESP), Spain

*Corresponding author. Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública, Facultad de Medicina. C/ San Francisco s/n, Universidad de Santiago de Compostela, 15782.Santiago de Compostela, Spain. E-mail: alberto.ruano@usc.es

Radón y otras enfermedades no oncológicas

Radón e ictus

Neurology®

The most
peer-revie

RESEARCH ARTICLE | January 31, 2024

Radon Exposure and I
Women's Health Initi

Sophie F. Buchheit, AB, Jason M. Collins, MPH, Kurtis
GISP, Rahul Gondalia, PhD, MPH, David Y. Huang, MD
AFFILIATIONS

February 27, 2024 issue • 102 (4) • https://doi.org/10.121

Methods

We conducted a prospective cohort study of postmenopausal women aged 50–79 years at baseline (1993–1998) in the Women's Health Initiative. We measured exposures as 2-day, indoor, lowest living-level average radon concentrations in picocuries per liter (pCi/L) as estimated in 1993 by the US Geological Survey and reviewed by the Association of American State Geologists under the Indoor Radon Abatement Act. We used Cox proportional hazards models to estimate risk of incident, neurologist-adjudicated stroke during follow-up through 2020 as a hazard ratio and 95% CI, adjusting for study design and participant demographic, social, behavioral, and clinical characteristics.

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Radón e ictus

Results

Among 158,910 women without stroke at baseline (mean age 63.2 years; 83% white), 6,979 incident strokes were identified over follow-up (mean 13.4 years). Incidence rates were 333, 343, and 349 strokes per 100,000 woman-years at radon concentrations of <2, 2–4, and >4 pCi/L, respectively. Compared with women living at concentrations <2 pCi/L, those at 2–4 and >4 pCi/L had higher covariate-adjusted risks of incident stroke: hazard ratio (95% CI) 1.06 (0.99–1.13) and 1.14 (1.05–1.22). Using nonlinear spline functions to model radon, stroke risk was significantly elevated at concentrations ranging from 2 to 4 pCi/L ($p = 0.0004$), that is, below the United States Environmental Protection Agency Radon Action Level for mitigation (4 pCi/L). Associations were slightly stronger for ischemic (especially cardioembolic, small vessel occlusive, and large artery atherosclerotic) than hemorrhagic stroke, but otherwise robust in sensitivity analyses.

Se han realizado diversos estudios sobre radón y Alzheimer y alguno sobre radón y Párkinson.
Resultados discrepantes

Radón y diabetes gestacional

Figure 1. Radon Levels and Study Participants in the Contiguous US, by County

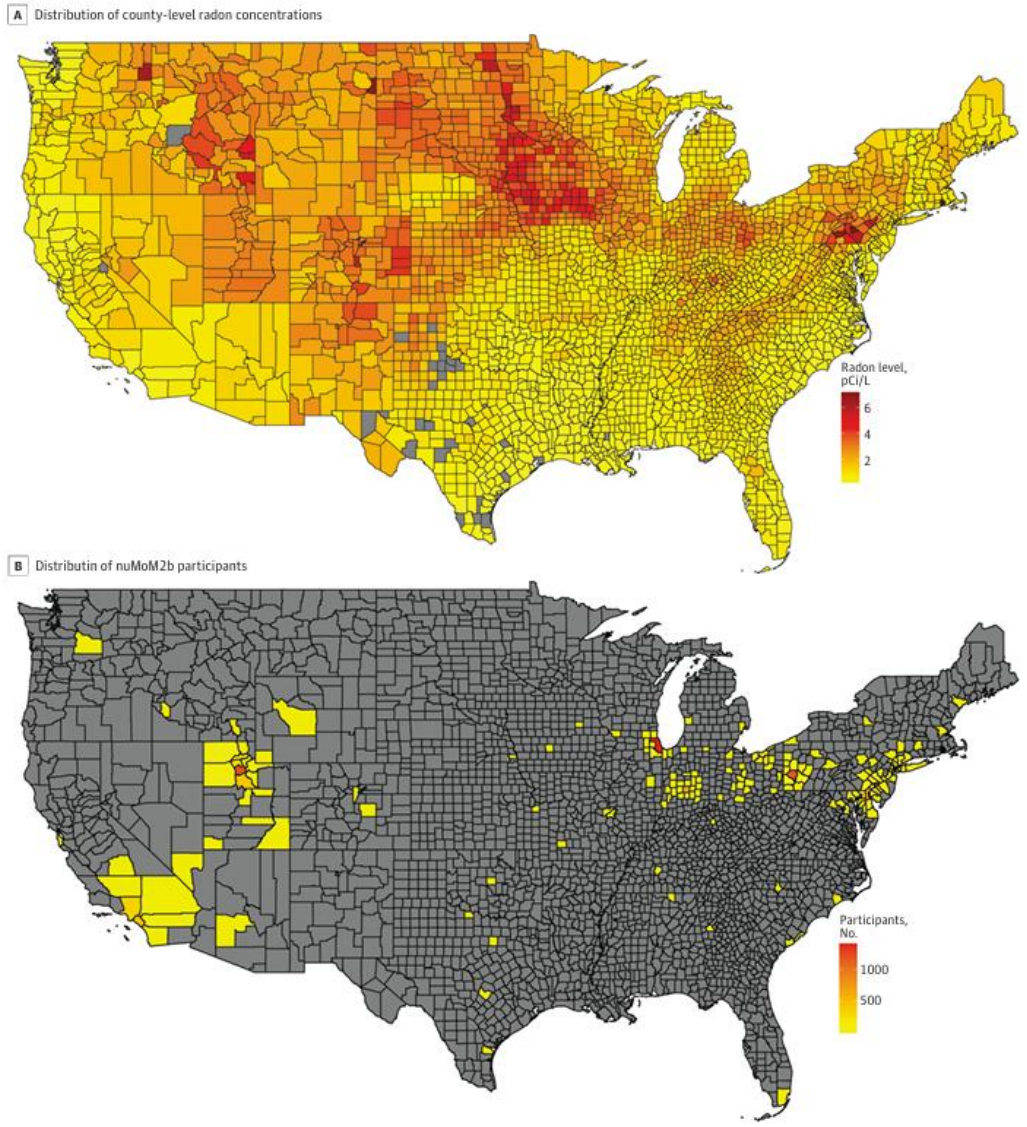


Table 2. Association Between Radon Exposure and Gestational Diabetes[a]

	Odds ratio (95% CI)[b]		
Model	<1 pCi/L	1 to <2 pCi/L	≥2 pCi/L
1[c]	1 [Reference]	1.03 (0.79-1.34)	1.20 (0.94-1.54)
2[d]	1 [Reference]	1.00 (0.73-1.37)	1.37 (1.02-1.84)
3[e]	1 [Reference]	0.97 (0.70-1.35)	1.36 (1.00-1.86)

Abbreviation: pCi, picocurie.

[a] N = 9107. There were 169 cases among 3960 participants in the group with radon exposure less than 1 pCi/L (4.3%); 91 among 2206 in the group with radon exposure of 1 to less than 2 pCi/L (4.1%); and 122 among 2941 in the group with radon exposure of 2 pCi/L or higher (4.1%).

[b] To convert pCi per liter to becquerels per cubic meter, multiply by 37.

[c] Adjusted for age and race and ethnicity.

[d] Additionally adjusted for the following factors in Table 1: educational level, marital status, insurance, percentage of federal poverty level, tobacco smoking, body mass index at visit 1, systolic blood pressure, season of conception, and infant sex.

[e] Additionally adjusted for fine particulate matter air pollutants.

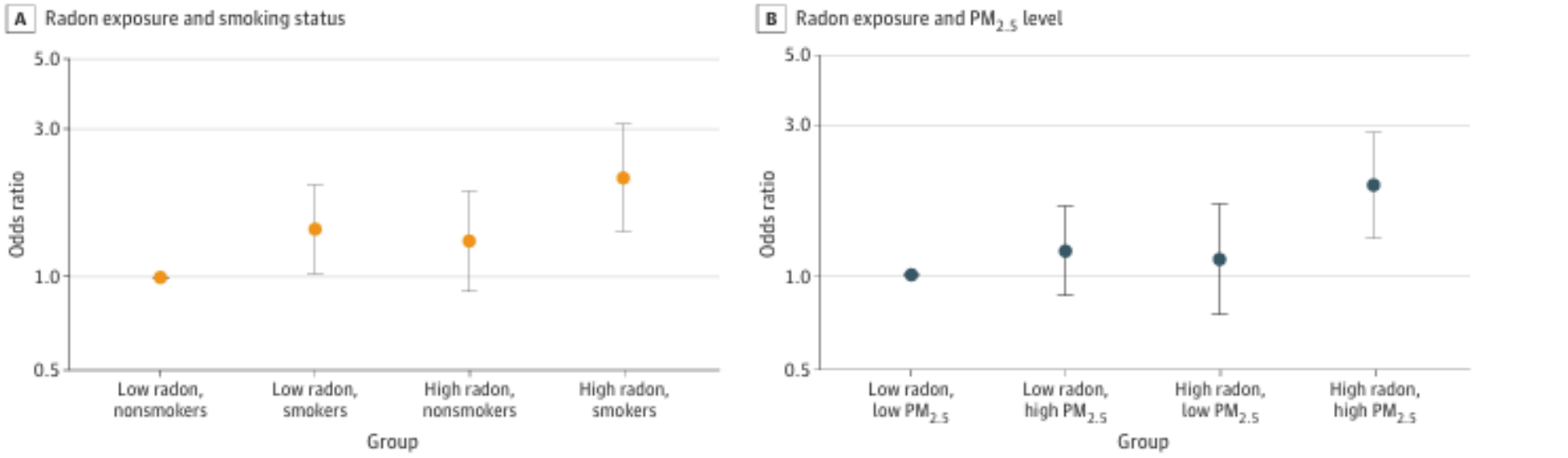
CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Radón y diabetes gestacional

Figure 3. Multivariable Odds Ratios of Developing Gestational Diabetes by Smoking Status, Radon Exposure, and Fine Particulate Matter Air Pollutants ($PM_{2.5}$) Exposure



A, Nonsmokers with low radon exposure was the reference group. B, The group with low radon and low $PM_{2.5}$ exposure was the reference group. High radon level was considered to be 2 picocuries (pCi)/L or greater and low, less than 2 pCi/L (to convert to becquerels per cubic meter, multiply by 37). High $PM_{2.5}$ level was considered to be above the median and low, below the median.

Radón y diabetes gestacional

¿Qué problemas puede presentar este estudio?



Período de inducción.
La variabilidad en la estimación de radón interior es enorme
Por eso debe medirse en cada vivienda. Los modelos (los mejores) no predicen más del 40% de variabilidad.
Razones climatológicas, del terreno, del comportamiento de los habitantes y de la propia vivienda influyen en esto

Radón y enfermedades de origen inflamatorio. EPOC

¿Radón y EPOC?

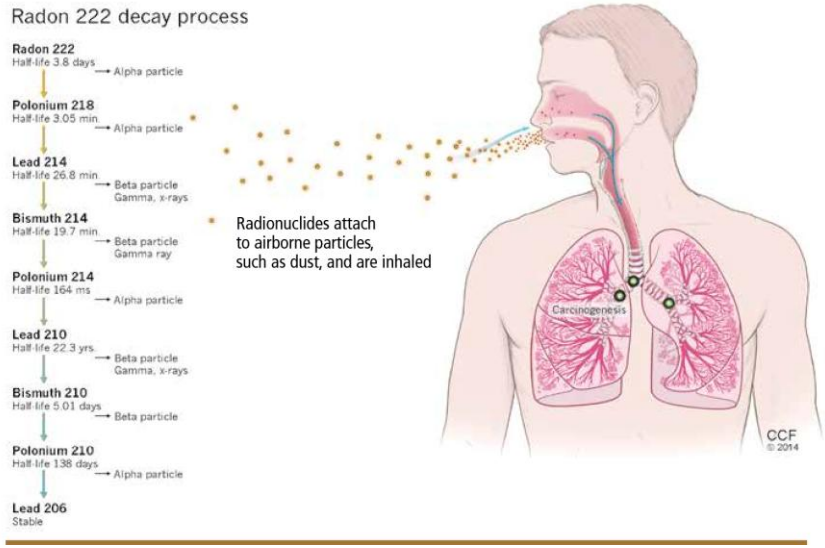
¿Puede haber causalidad?

Teoría → **Hipótesis**

Criterios de causalidad (Bradford Hill)
- Plausibilidad biológica
- Temporalidad…

De la misma manera que el tabaco puede inducir una enfermedad con patrón inflamatorio como la EPOC, ¿puede la radiación alfa tener un efecto similar?

Años de bombardeo radioactivo intenso



› Environ Res. 2023 Jan 1;216(Pt 1):114492. doi: 10.1016/j.envres.2022.114492. Epub 2022 Oct 6.

Particle radioactivity from radon decay products and reduced pulmonary function among chronic obstructive pulmonary disease patients

Veronica A Wang [1], Petros Koutrakis [1], Longxiang Li [1], Man Liu [1], Carolina L Z Vieira [1], Brent A Coull [2], Edward F Maher [1], Choong-Min Kang [1], Eric Garshick [3]

Antecedentes

Eur Respir J 2012; 39: 1113–1119
DOI: 10.1183/09031936.00058211
Copyright©ERS 2012
ERJ Open articles are open access and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial Licence 3.0

ERJ 2012

Radon and COPD mortality in the American Cancer Society Cohort

Michelle C. Turner*,#, Daniel Krewski#,¶,+, Yue Chen¶, C. Arden Pope III§, Susan M. Gapstur[f] and Michael J. Thun[f]

ABSTRACT: Although radon gas is a known cause of lung cancer, the association between residential radon and mortality from non-malignant respiratory disease has not been well characterised.

The Cancer Prevention Study-II is a large prospective cohort study of nearly 1.2 million Americans recruited in 1982. Mean county-level residential radon concentrations were linked to study participants' residential address based on their ZIP code at enrolment (mean±SD 53.5±38.0 Bq·m^{-3}). Cox proportional hazards regression models were used to estimate adjusted hazard ratios (HR) and 95% confidence intervals (CI) for non-malignant respiratory disease mortality associated with radon concentrations. After necessary exclusions, a total of 811,961 participants in 2,754 counties were included in the analysis.

Throughout 2006, there were a total of 28,300 non-malignant respiratory disease deaths. Radon was significantly associated with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) mortality (HR per 100 Bq·m^{-3} 1.13, 95% CI 1.05–1.21). There was a significant positive linear trend in COPD mortality with increasing categories of radon concentrations ($p<0.05$).

Findings suggest residential radon may increase COPD mortality. Further research is needed to confirm this finding and to better understand possible complex inter-relationships between radon, COPD and lung cancer.

Int J Radiat Biol. 2017 Feb;93(2):222-230. doi: 10.1080/09553002.2017.1238526. Epub 2016 Nov 17.

Residential radon and COPD. An ecological study in Galicia, Spain

Raquel Barbosa-Lorenzo [1 2], Alberto Ruano-Ravina [1 3 4], Rebeca Ramis [3 5], Nuria Aragonés [3 5], Karl T Kelsey [4], Consuelo Carballeira-Roca [6], Alberto Fernández-Villar [7], Gonzalo López-Abente [3 5], Juan M Barros-Dios [1 3 8]

Affiliations + expand

INT J RADIATION BIOL 2017

PMID: 27778529 DOI: 10.1080/09553002.2017.1238526

Abstract

Purpose: Radon is a human lung carcinogen but it might be linked with other respiratory diseases. We aimed to assess the relationship between residential radon exposure and COPD (chronic obstructive pulmonary disease) prevalence and hospital admissions at a municipal level.

Materials and methods: We designed an ecological study where we included those municipalities with at least three radon measurements. Using mixed Poisson regression models, we calculated the relative risk (RR) for COPD for each 100 Bq/m^3 of increase in radon concentration and also the relative risk for COPD using a cut-off point of 50 Bq/m^3. We did not have individual data on cigarette smoking and therefore we used a proxy (bladder cancer standardized mortality rate) that has proved to account for tobacco consumption. We performed separate analyses for sex and also sensitivity analysis considering age and rurality.

Results: A total of 3040 radon measurements and 49,393 COPD cases were included. The relative risk for COPD prevalence was 0.95 (95% CI: 0.92-0.97) while for hospital admissions the RR was 1.04 (95% CI: 1.00-1.10) for each 100 Bq/m^3. Relative risks were higher for women compared to men. Using a categorical analysis with a cut-off point of 50 Bq/m^3, the RR for COPD prevalence was 1.06 (95% CI: 1.02-1.10) and for hospital admissions it was 1.08 (95% CI: 1.00-1.17) for women living in municipalities with more than 50 Bq/m^3. All risks were also higher for women. No relevant differences were observed for age, rurality or other categories for radon exposure.

Conclusion: While the influence of radon on COPD prevalence is unclear depending on the approach used, it seems that residential radon might increase the risk of hospital admissions in COPD patients. Women have a higher risk than men in all situations. Since this is an ecological study, results should be interpreted cautiously.

Antecedentes

ELSEVIER

Environment International

Volume 130, September 2019, 104865

County-level radon exposure and all-cause mortality risk among Medicare beneficiaries

Maayan Yitshak-Sade [a], Annelise J. Blomberg [a], Antonella Zanobetti [a], Joel D. Schwartz [a b], Brent A. Coull [a d], Itai Kloog [c], Francesca Dominici [a d], Petros Koutrakis [a]

Asociación con radón y mortalidad por todas las causas, incluyendo mortalidad específica por EPOC.

International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease

Dovepress

open access to scientific and medical research

Open Access Full Text Article

REVIEW

Exposure to Residential Radon and COPD: A Systematic Review

This article was published in the following Dove Press journal:
International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease

Alejandro Conde-Sampayo [1]
María Lorenzo-González [1]
Alberto Fernández-Villar [2]
Juan Miguel Barros-Dios [3–5]
Alberto Ruano-Ravina [3,4]

[1]Preventive Medicine Unit, Ourense University Teaching Hospital Complex, Ourense, Spain; [2]Pneumology Unit, Vigo University Teaching Hospital Complex, Vigo, Spain; [3]Department of Preventive Medicine and Public Health, University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain; [4]Consortium for Biomedical Research in Epidemiology & Public Health (CIBER en Epidemiología y Salud Pública - CIBERESP), Madrid, Spain; [5]Preventive Medicine Unit, Santiago de Compostela University Teaching Hospital Complex, Santiago de Compostela, Spain

Introduction: The aim of this study was to analyse the relationship between exposure to residential radon and chronic obstructive pulmonary disease (COPD) by means of a systematic review.

Material and Methods: A search was conducted in PubMed and OVID for papers making reference to the radon–COPD relationship. No search filters were applied, whether by date of publication, study type or sample size. All studies not written in English or Spanish were discarded.

Results: A total of 174 and 57 papers were found in PubMed and OVID, respectively: of these, 13 (11 on miners and 2 on the general population) fulfilled the inclusion criteria. Only four of the studies on cohorts of miners analysed COPD as a specific disease, and only one reported statistically significant results. In addition, many of these studies lacked information on tobacco use among miners. In contrast, studies conducted on the general public showed an association between mortality and hospital admissions, on the one hand, and residential radon on the other.

Conclusion: There are not enough studies to provide a basis for confirming or ruling out an association between radon exposure and COPD. Nonetheless, the most recent general population studies point to evidence of a possible association. In view of the heterogeneity of available studies, it is impossible to say whether this gas may or may not affect COPD morbidity and mortality, until such a time as further studies are carried out.

Keywords: radon, COPD, chronic obstructive pulmonary disease, systematic review

al of Chronic Obstructive Pulmonary Disease downloaded from https://www.dovepress.com/ on 27-May-2023
For personal use only.

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Exposición a radón y riesgo de EPOC

Archivos de Bronconeumología 57 (2021) 630–636

Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica SEPAR

ARCHIVOS DE Bronconeumología

www.archbronconeumol.org

Original Article

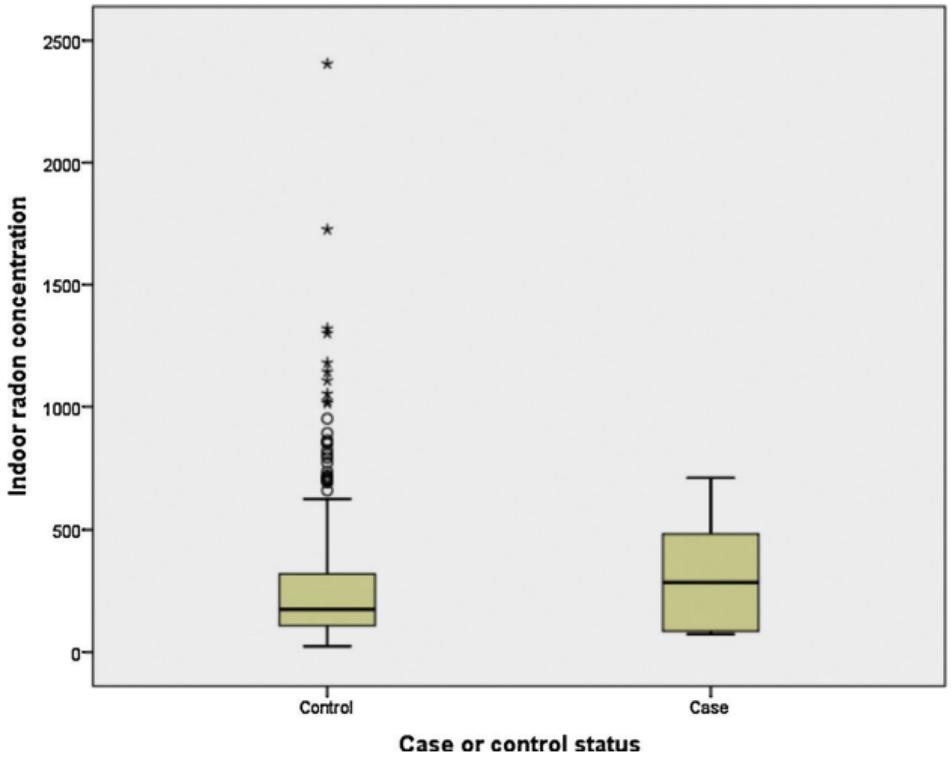
Indoor Radon Exposure and COPD, Synergic Association? A Multicentric, Hospital-Based Case–Control Study in a Radon-Prone Area

Alberto Ruano-Ravina[a,b,c,*], Candela Cameselle-Lago[a], María Torres-Durán[d], Ana Pando-Sandoval[e], Raquel Dacal-Quintas[f], Luis Valdés-Cuadrado[g], Jesús Hernández-Hernández[h], Angélica Consuegra-Vanegas[i], José Andrés Tenes-Mayén[h], Leonor Varela-Lema[a,b], Alberto Fernández-Villar[d], Juan Miguel Barros-Dios[a,b,c], Mónica Pérez-Ríos[a,b,c]

Resultados: Participaron 189 casos y 747 controles. No hubo una asociación significativa entre las concentraciones de radón en las residencias y la aparición de la EPOC con un OR de 1,12 (IC 95%: 0,41-3,06) para las personas expuestas a más de 200 Bq/m^3 en comparación con las expuestas a menos de 50 Bq/m^3. Los grandes fumadores parecen aumentar su riesgo de EPOC si se exponen a concentraciones de radón más altas en comparación con aquellos expuestos a concentraciones más bajas. Hubo un índice de sinergia estadísticamente significativo entre la exposición al radón y el consumo de tabaco: índice S=11,60 (IC 95%: 3,71 - 36,26). La concentración de radón en interiores fue mayor en los no fumadores y fumadores leves con EPOC en comparación con los controles.

Primer estudio con medición individual en casos y controles

Beca SEPAR 2017. 3 hospitales (Vigo, Santiago y Ourense)
189 casos y 747 controles



g. 1. Indoor radon concentration by case–control status for light smokers and never smokers (<10 pack-years).

Sólo dos casos EPOC nunca fumadores

CRETUS

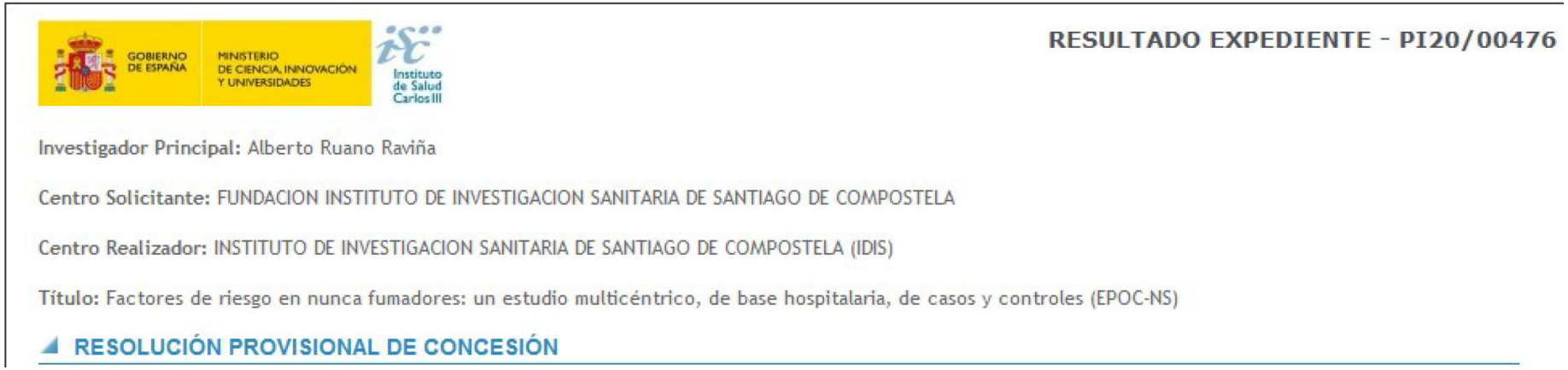
ciberesp Centro de Investigación Biomédica en Red Epidemiología y Salud Pública

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Factores de riesgo de la EPOC en nunca fumadores.

Estudio RADEPOC NS

Financiación: Instituto de Salud Carlos III (PI20/00476)



GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES · Instituto de Salud Carlos III

RESULTADO EXPEDIENTE - PI20/00476

Investigador Principal: Alberto Ruano Raviña

Centro Solicitante: FUNDACION INSTITUTO DE INVESTIGACION SANITARIA DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Centro Realizador: INSTITUTO DE INVESTIGACION SANITARIA DE SANTIAGO DE COMPOSTELA (IDIS)

Título: Factores de riesgo en nunca fumadores: un estudio multicéntrico, de base hospitalaria, de casos y controles (EPOC-NS)

RESOLUCIÓN PROVISIONAL DE CONCESIÓN

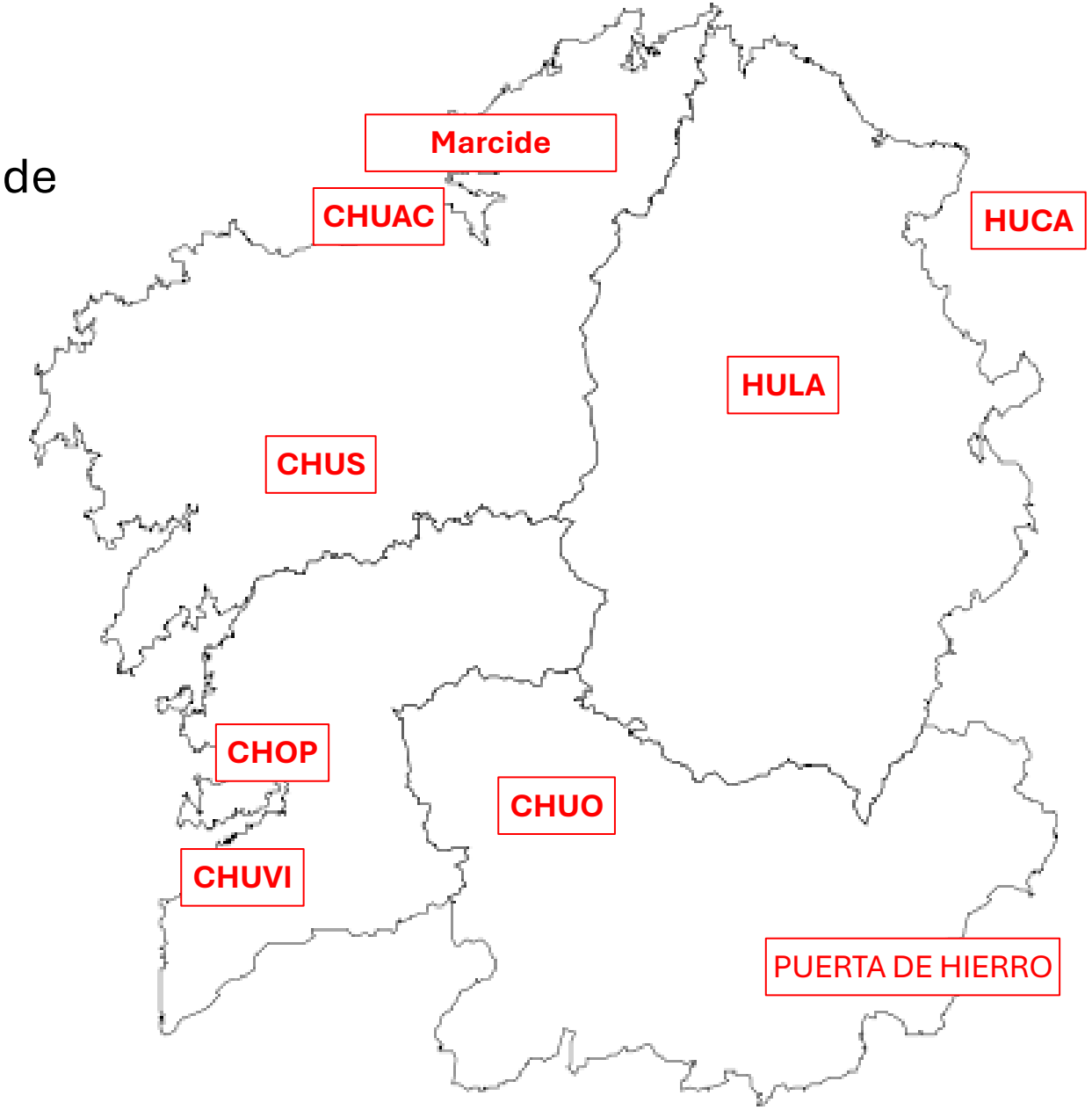
CRETUS

ciberesp Centro de Investigación Biomédica en Red Epidemiología y Salud Pública

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Sujetos y Métodos

Estudio multicéntrico de casos y controles de base hospitalaria



CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Sujetos y Métodos

CASOS

1. EPOC

- Diagnóstico espirométrico: FEV1/FVC <0,70 post BD
- Exposición confirmada a factor de riesgo

2. Nunca fumadores

- No haber fumado > un cig/día 6 meses
- < 100 cig durante su vida

CONTROLES

1. **No EPOC**
2. **Nunca fumadores**

Emparejamiento por frecuencia de sexo y edad

Estudio financiado por el Fondo de Investigaciones Sanitarias (Instituto de Salud Carlos III - ISCIII/PI20/00476 /Cofinanciado Unión Europea – FEDER).

CRETUS

ciberesp Centro de Investigación Biomédica en Red Epidemiología y Salud Pública

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Sujetos y Métodos

Detector de radón entregado: ☐ Sí ☐ No **Muestra biológica recogida:** ☐ Sí ☐ No

Datos generales del paciente
Nombre y apellidos:
Fecha de nacimiento: ☐☐ de ☐☐ de ☐☐☐☐ Edad: años
Talla: metros Peso: kg Sexo: ☐ Hombre ☐ Mujer
Estado Civil: ☐ Soltero ☐ Casado/vive en pareja ☐ Viudo ☐ Separado/Divorciado
Nivel de estudios: ☐ Sin estudios ☐ Primarios ☐ Secundarios ☐ Universitarios (Titulo más alto:)
Teléfono fijo: Teléfono móvil:
Fecha de entrevista: ☐☐ de ☐☐ de ☐☐☐☐
Parentesco de familiar de contacto: Teléfono:

Estado: ☐ caso ☐ control *si es control:* ☐ ingresado ☐ ambulatorio causa de ingreso o de consulta:

Residencia actual
Municipio: Calle/Plaza:
Número: Piso: CP: ☐☐☐☐☐ Lugar:
Parroquia: Provincia:
Nº años de permanencia en la casa: años
Tiempo de permanencia fuera de la residencia habitual cada año (vacaciones, fines de semana, trabajo,...):
Antigüedad de la vivienda: años
Tiene lareira: ☐ Sí ☐ No Utilización de oct. – mar. (veces por semana): Durante: años
Tiene cocina de leña: ☐ Sí ☐ No Utilización de oct. – mar. (veces por semana): Durante: años
Anteriormente vivió en: *(cubrir en caso de vivir menos de 10 años en la última vivienda)* Permanencia de: años

Actividad laboral (Jubilación: ☐ SI ☐ NO)	
Última ocupación desempeñada (si jubilado) u ocupación actual:	
Nombre de la ocupación:	Duración: años
Descripción de la tarea:	Numero de horas/día:
Otros trabajos desempeñados en los últimos años (de más reciente a más antiguo y sin tener en cuenta la ocupación anterior):	
Nombre de la ocupación:	Duración: años
Descripción de la tarea:	Numero de horas/día:
Nombre de la ocupación:	Duración: años
Descripción de la tarea:	Numero de horas/día:
Nombre de la ocupación:	Duración: años
Descripción de la tarea:	Numero de horas/día:
Nombre de la ocupación:	Duración: años
Descripción de la tarea:	Numero de horas/día:

Actividades de tiempo libre	
¿Realiza Ud., en su tiempo libre, alguna de las siguientes actividades?	☐ Bricolaje ☐ Pintura ☐ Manualidades ☐ Modelismo ☐ Barnizado ☐ Otras:
¿Durante cuánto tiempo?	Diariamente:_____horas/día Semanalmente: ___días/semana horas/semana:_____ ¿Durante cuantos años?:_____
¿Utiliza en ellas alguna de las siguientes sustancias?	☐ Barnices ☐ Pinturas ☐ Pegamentos ☐ Colas ☐ Polvo de madera ☐ Otras:
¿Toca usted algún instrumento musical de viento?	☐ Sí ☐ No ¿Cuál?,
¿Durante cuanto tiempo ha tocado dicho instrumento?	Diariamente:_____horas/día Semanalmente: ___días/semana horas/semana:_____ ¿Durante cuantos años?:_____

CRETUS

ciberesp Centro de Investigación Biomédica en Red Epidemiología y Salud Pública

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Sujetos y Métodos

Tabaquismo pasivo

En los últimos 20 años, ¿ha convivido usted con fumadores? SI ☐ NO ☐ NS ☐

Parentesco	Tiempo de convivencia	Cantidad diaria que fumaba el conviviente en su presencia
1.		
2.		
3.		
4.		

¿Antes de la implantación de la Ley de 2005 que prohíbe fumar en locales de hostelería, cuantas veces por semana acudía a dichos locales?_____veces a la semana

Exposición al humo ambiental de tabaco en la infancia

Piense en su infancia y adolescencia, más o menos antes de cumplir 16 años ¿en el interior de la casa donde usted vivía se fumaba? SI ☐ NO ☐

¿Quién fumaba en su domicilio?

Familiar fumador	Fumaba en su presencia
1.	SI ☐ NO ☐
2.	SI ☐ NO ☐
3.	SI ☐ NO ☐
4.	SI ☐ NO ☐

Exposición al humo ambiental de tabaco en el trabajo

¿Alguna vez ha estado expuesto al humo ambiental del tabaco en el trabajo? SI ☐ NO ☐

¿Durante cuántos años?_____

¿Durante cuántas horas diarias aproximadamente?_____

¿La exposición fue en un recinto cerrado (oficina por ejemplo) o abierto?

Cerrado ☐ Abierto ☐ Otras consideraciones_____

Consumo de cigarrillos electrónicos/vapeo

¿Consume cigarrillos electrónicos o vapea?	SI ☐ NO ☐
¿Ha consumido cigarrillos electrónicos o ha vapeado?	SI ☐ NO ☐

número de veces al día que vapea _____ número de años que ha vapeado _____

Antecedentes Clínicos

Nacimiento

Indique el peso al nacer, si lo sabe: ____ Kg ☐ normopeso ☐ bajo peso ☐ macrosómico

¿Fue prematuro (nació antes de los 9 meses)? ☐ Sí ☐ No

Antecedentes de enfermedades respiratorias

Ha tenido o tiene asma? ☐ Sí ☐ No ¿A qué edad se la diagnosticaron? _____ Años
Ha tenido historia típica de asma bronquial? ☐ Sí ☐ No
Ha tenido tuberculosis? ☐ Sí ☐ No ¿A qué edad se la diagnosticaron? _____ Años
Ha tenido neumonía? ☐ Sí ☐ No ¿Cuantas? _____ ¿A qué edad? _____ Años

Ha tenido alguna otra enfermedad respiratoria? ☐ Sí ☐ No
¿Cuál? _____ ¿A qué edad? _____ Años

COVID-19

Ha padecido usted Coronavirus? ☐ Sí ☐ No
En caso afirmativo:
Ha sido ingresado? ☐ Sí ☐ No ¿Cuantos días? _____
Ha estado en una UCI? ☐ Sí ☐ No ¿Cuantos días? _____

Alguna persona conviviente con usted ha tenido Coronavirus? ☐ Sí ☐ No

Características de la EPOC (Sólo para casos)

Fecha diagnóstico de la EPOC:	☐☐ de ☐☐ de ☐☐☐☐
Capacidad vital forzada (**FVC**) en valor absoluto:	ml
Capacidad vital forzada:	%
Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (**FEV1**):	ml
Flujo espirado en el primer segundo:	%
Cociente:	
Fecha de realización de la última espirometría:	☐☐ de ☐☐ de ☐☐☐☐
Flujo espirado en el primer segundo (**FEV1**) posbroncodilatador:	ml
Flujo espirado en el primer segundo:	%
Resultado de la última espirometría (FEV1/FVC posbroncodilatador):	
Prueba broncodilatadora:	☐ Negativa ☐ Positiva
Número de ingresos hospitalarios hasta la fecha de inclusión en los últimos tres años:	
Número de ingresos por exacerbación de EPOC en los últimos 3 años:	





¿Hay asociación entre la exposición a radón y riesgo y gravedad de EPOC en nunca fumadores?

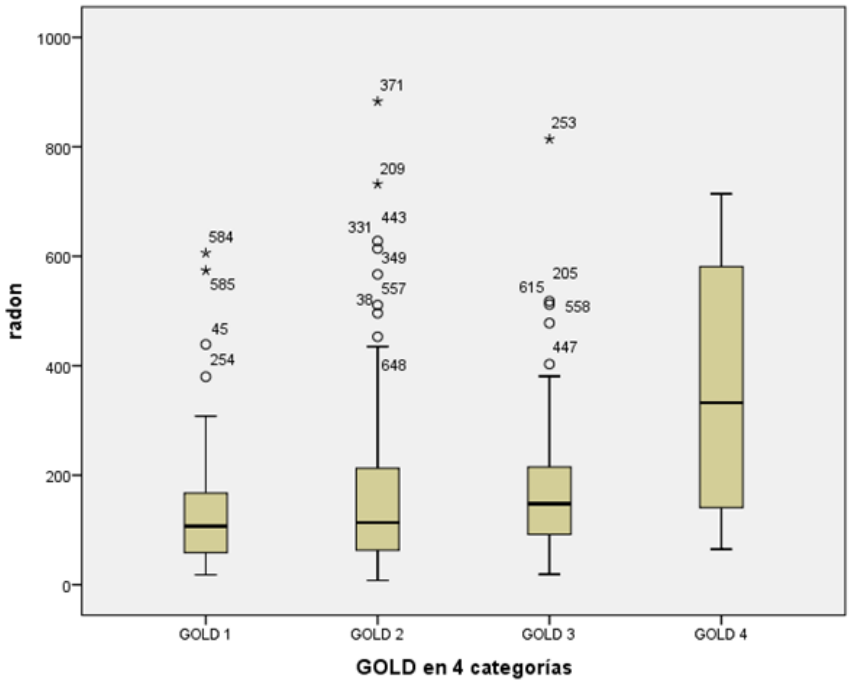
Table 1. Characteristics of the study population.

	Cases, n (%) 300	**Controls, n (%)** 462
Demographics		
Sex, n (%)		
Women	186 (62.0)	301 (65.2)
Men	114 (38.0)	161 (34.8)
Age, years (median and pct 25-75)	74 (65-80)	65 (57-73)
Education achieved, n (%) *		
No primary studies completed	30 (13.9)	12 (2.6)
Primary studies	132 (61.1)	179 (39.3)
Secondary studies	35 (16.2)	120 (26.4)
Bachelor or higher studies	19 (8.8)	144 (31.6)
Environmental tobacco smoke exposure at home, n (%) *		
No	198 (66.4)	317 (68.6)
Yes	99 (33.6)	145 (31.4)
COPD characteristics		
FEV_1 post bd (% reference), median and pct 25-75	63 (50-77)	
FVC post bd (% reference), median and pct 25-75	86 (70-99)	
FEV_1/FVC post bd (%), median and pct 25-75	59.1 (51.0-64.5)	
GOLD grades of airflow obstruction		
1	63 (25%)	
2	146 (57%)	
3	44 (17%)	
4	4 (2%)	
Years since COPD diagnosis, median and pct 25-75	4.1 (1.2-8.7)	
Exposures reported as possible causes of COPD **		
Premature birth	11 (3.9)	
Asthma	116 (42.5)	

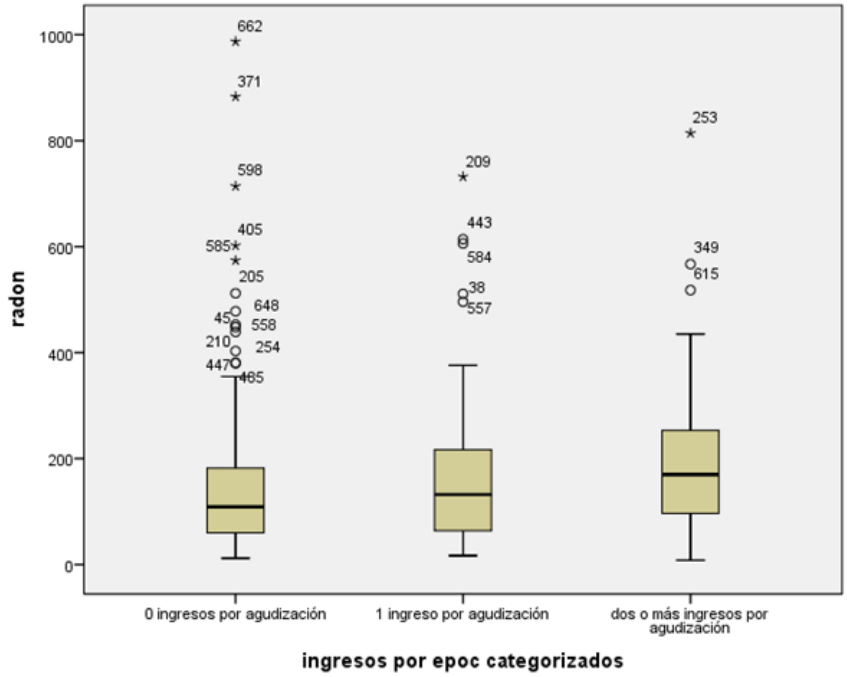
¿Hay asociación entre la exposición a radón y riesgo y gravedad de EPOC en nunca fumadores?

	Cases n (%)	Controls n (%)	Crude OR (CI95%)	Adjusted OR (CI95%)
Total study population				
Indoor radon exposure ($Bq/m^{3)}$				
≤100	116 (41.4)	176 (41.4)	1 (-)	1 (-)
100-199	93 (33.2)	129 (30.1)	1.10 (0.77-1.57)	1.14 (0.79-1.64)
200-299	35 (12.5)	51 (11.9)	1.02 (0.62-1.57)	1.13 (0.67-1.89)
≥300	36 (12.9)	72 (16.8)	0.76 (0.48-1.22)	0.80 (0.49-1.29)
Length of residence in the same dwelling				
More than 20 years living in the same dwelling and indoor radon exposure (Bq/m3)				
≤100	91 (44.8)	125 (44.6)	1 (-)	1 (-)
100-199	61 (30.0)	87 (31.1)	0.97 (0.64-1.49)	0.94 (0.59-1.50)
200-299	21 (10.3)	30 (10.7)	0.93 (0.49-1.73)	0.89 (0.48-1.78)
≥300	30 (14.8)	38 (13.6)	1.10 (0.63-1.90)	1.24 (0.67-2.28)
More than 30 years living in the same dwelling and indoor radon exposure (Bq/m3)				
≤100	75 (42.6)	80 (46.5)	1 (-)	1 (-)
100-199	54 (30.7)	56 (32.6)	1.04 (0.64-1.70)	0.98 (0.58-1.65)
200-299	21 (11.9)	17 (9.9)	1.27 (0.62-2.61)	1.21 (0.56-2.61)
≥300	26 (14.8)	19 (11.0)	1.48 (0.76-2.89)	1.84 (0.80-3.35)
More than 40 years living in the same dwelling and indoor radon exposure (Bq/m3)				
≤100	49 (38.6)	49 (44.1)	1 (-)	1 (-)
100-199	40 (31.5)	38 (34.2)	1.07 (0.59-1.95)	1.05 (0.57-1.96)
200-299	17 (13.4)	13 (11.7)	1.26 (0.55-2.89)	1.28 (0.54-3.10)
≥300	21 (16.5)	11 (9.9)	1.95 (0.85-4.47)	2.24 (0.93-5.39)

¿Hay asociación entre la exposición a radón y riesgo y gravedad de EPOC en nunca fumadores?



Concentración de radón y estadios GOLD (gravedad)



Concentración de radón e ingresos por agudización

Radón y enfermedad inflamatoria intestinal.

Rev Esp Enferm Dig. 2022 Jul;114(7):405-409. doi: 10.17235/reed.2021.8239/2021.

Radon exposure and inflammatory bowel disease in a radon prone area

Violeta Mauriz-Barreiro [1], Manuel Barreiro-de Acosta [2], Iria Bastón-Rey [3], Rocío Ferreiro-Iglesias [2], Cristina Calviño-Suárez [3], Juan Miguel Barros-Dios [3], J Enrique Domínguez-Munoz [3], Alberto Ruano-Raviña [4]

Affiliations + expand

PMID: 34781685 DOI: 10.17235/reed.2021.8239/2021

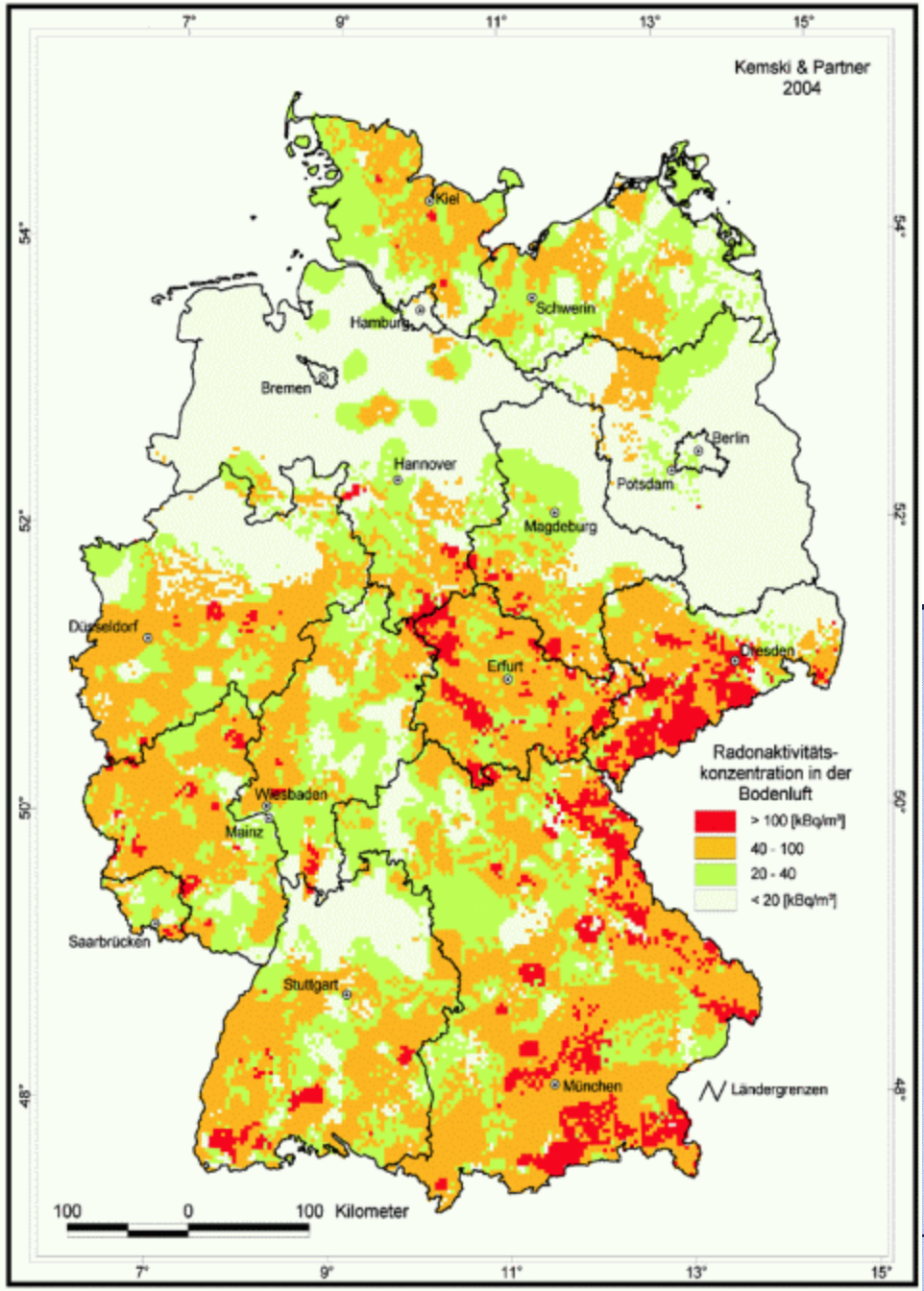
Estudio ecológico
No encuentra asociación

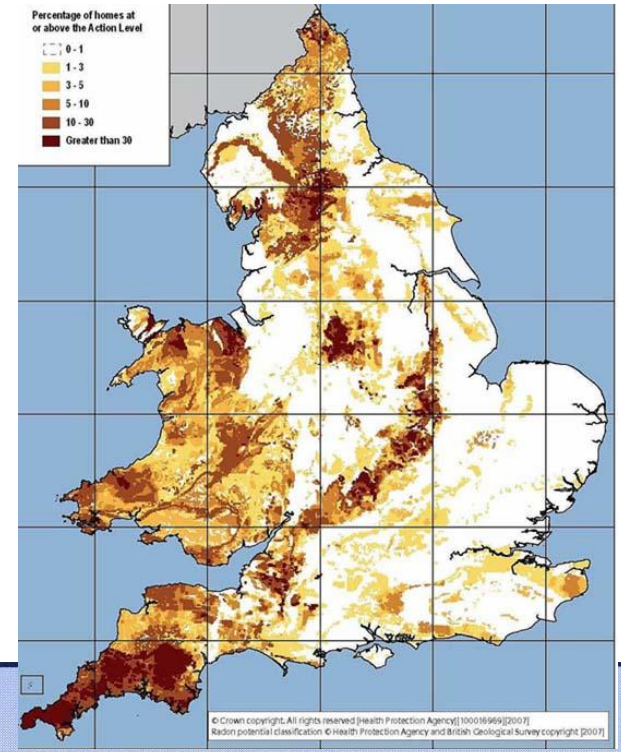
Resultados finales:

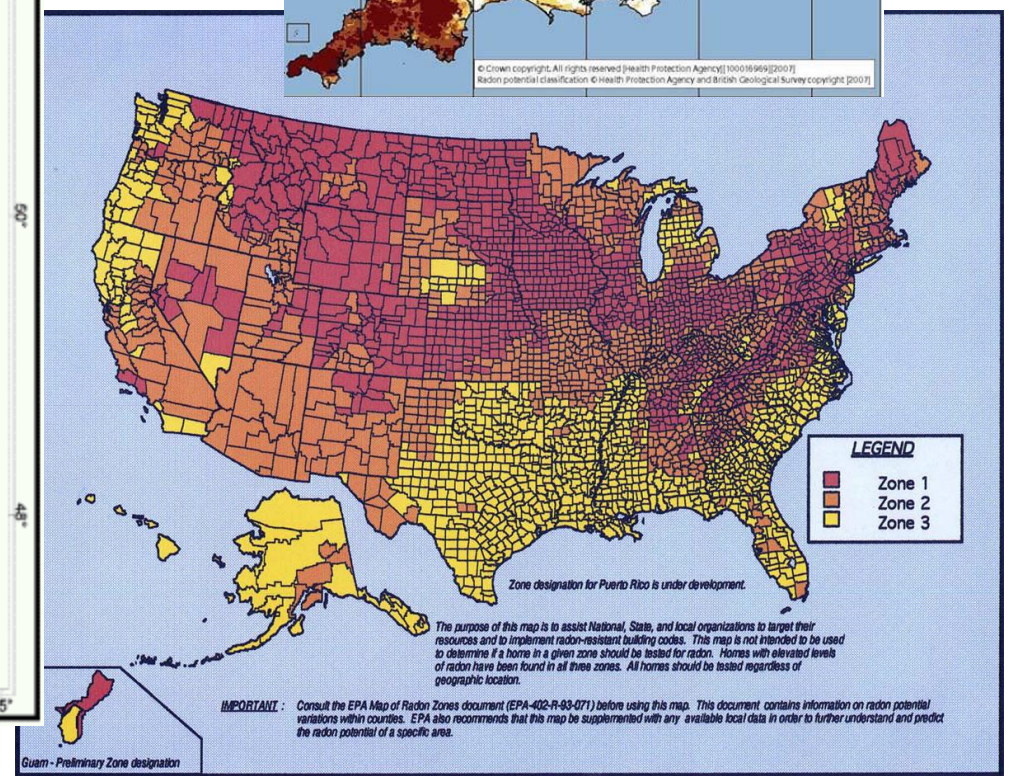
178 pacientes y 178 controles. No hay efecto, ni para enfermedad de Chron ni para Colitis ulcerosa

Mapas de Radón

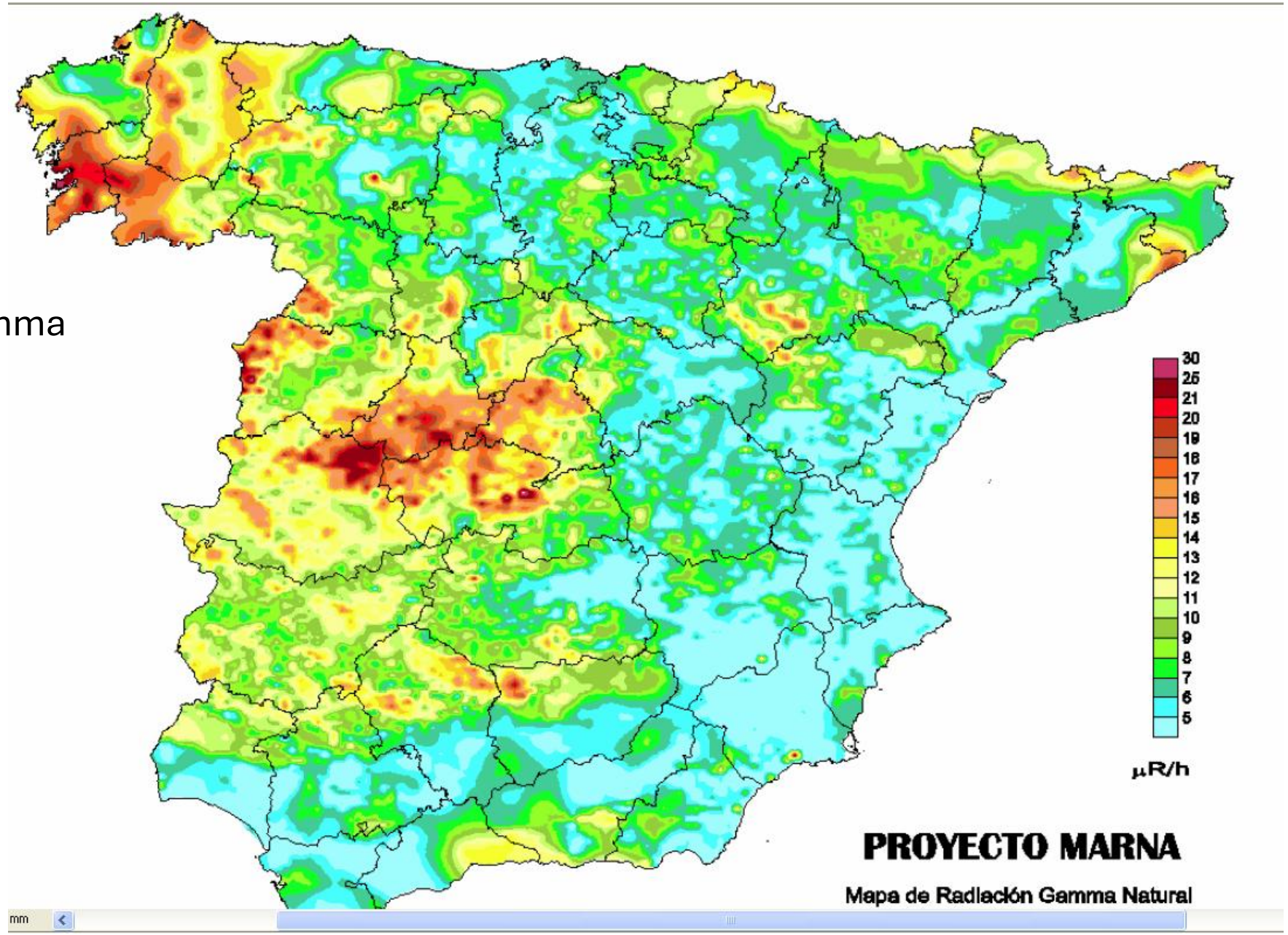
Mapa de Radón de Galicia


Kemski & Partner
2004
Kiel
Schwerin
Hamburg
Bremen
Berlin
Hannover
Potsdam
Magdeburg
Düsseldorf
Dresden
Erfurt
Wiesbaden
Mainz
Saarbrücken
Stuttgart
München
Radonaktivitäts-
konzentration in der
Bodenluft
> 100 [kBq/m³]
40 - 100
20 - 40
< 20 [kBq/m³]
Ländergrenzen
100 0 100 Kilometer


Percentage of homes at
or above the Action Level
0 - 1
1 - 3
3 - 5
5 - 10
10 - 30
Greater than 30
© Crown copyright. All rights reserved [Health Protection Agency][100016969][2007]
Radon potential classification © Health Protection Agency and British Geological Survey copyright [2007]


LEGEND
Zone 1
Zone 2
Zone 3
Zone designation for Puerto Rico is under development.
The purpose of this map is to assist National, State, and local organizations to target their resources and to implement radon-resistant building codes. This map is not intended to be used to determine if a home in a given zone should be tested for radon. Homes with elevated levels of radon have been found in all three zones. All homes should be tested regardless of geographic location.
IMPORTANT : Consult the EPA Map of Radon Zones document (EPA-402-R-93-071) before using this map. This document contains information on radon potential variations within counties. EPA also recommends that this map be supplemented with any available local data in order to further understand and predict the radon potential of a specific area.
Guam - Preliminary Zone designation

Mapa de exhalación gamma



12.000 mediciones

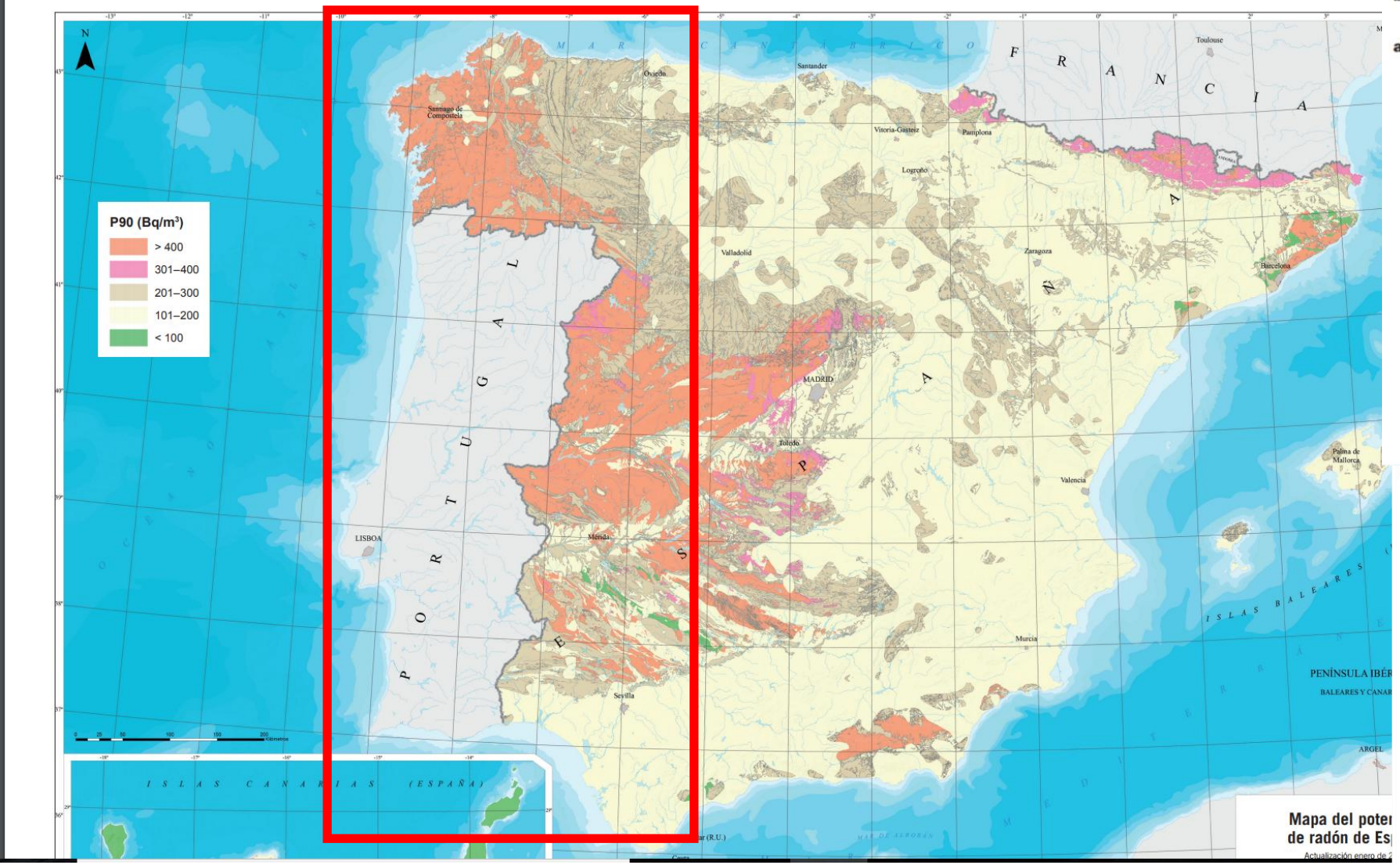
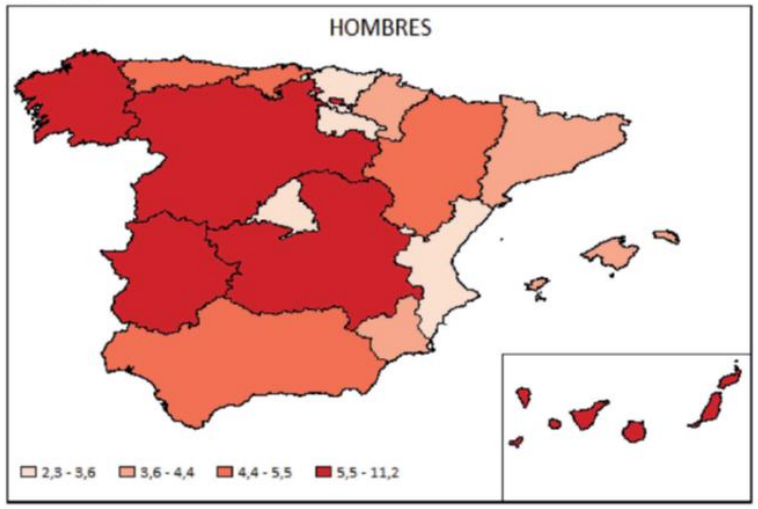
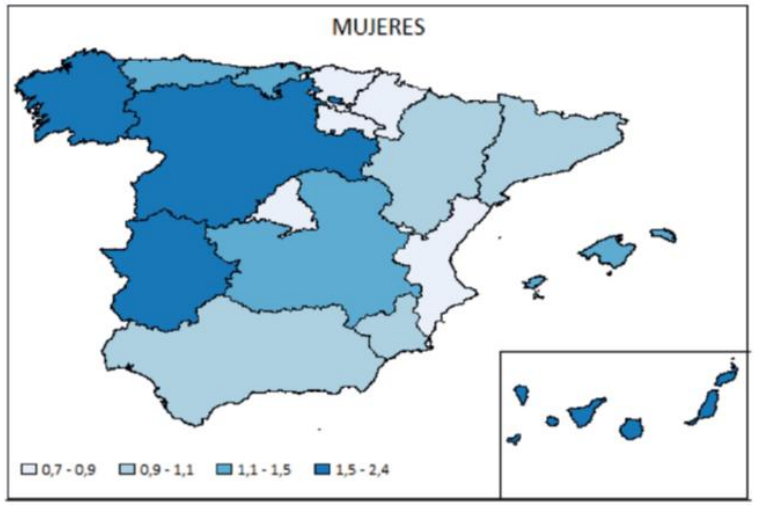


Figura 5. Mapa por cuartiles de la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón atribuida a radón en hombres (a) y mujeres (b). Tasas por 100.000 habitantes

a) Hombres



b) Mujeres

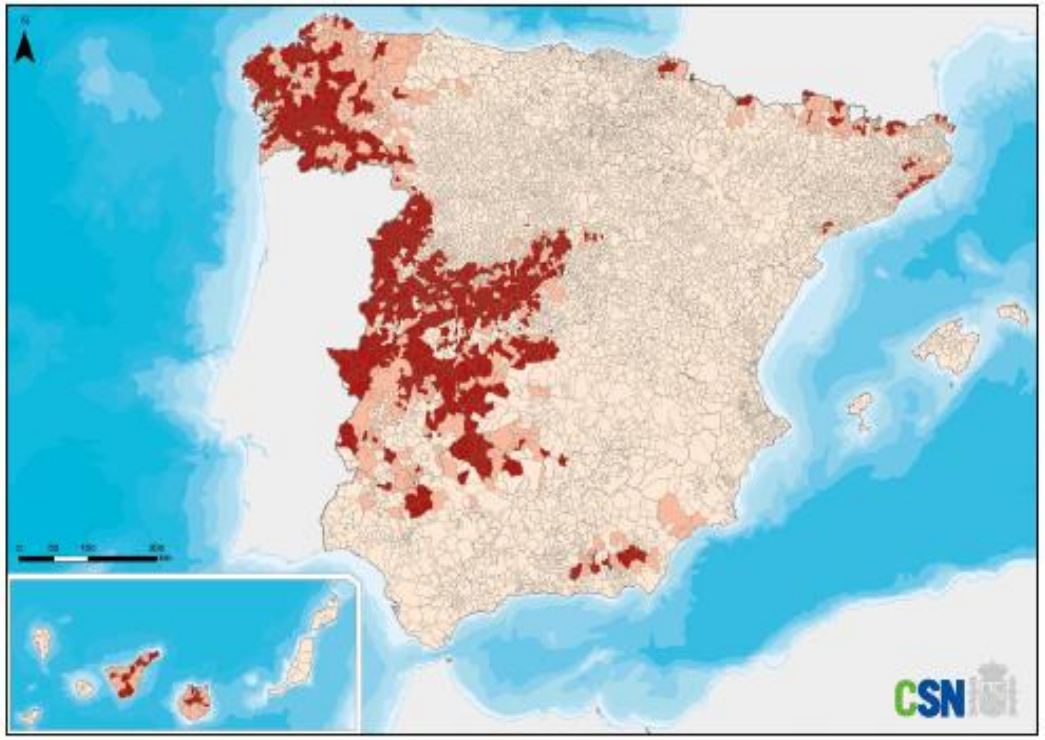


CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

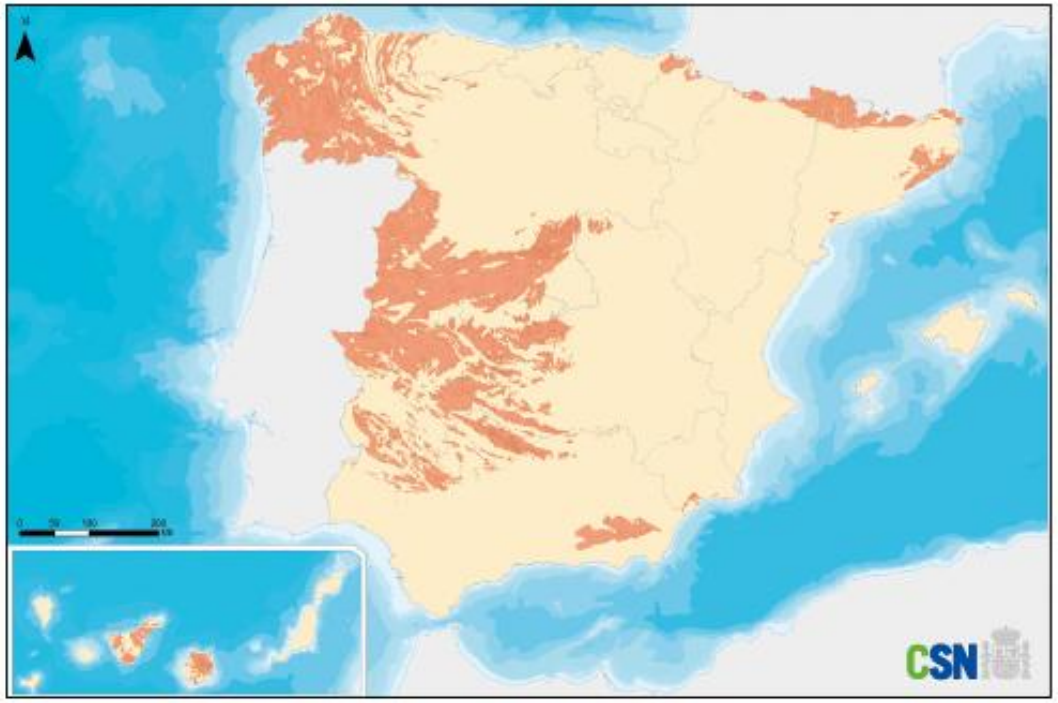
ZONIFICACIÓN POR MUNICIPIO



Población en zonas de actuación prioritaria: 0,01%–75% >75%

En color destacado se representan los municipios en los que hay población que reside en zonas de actuación prioritaria. Se muestran en granate aquellos en los que esta población representa más del 75% de la total del municipio.

ZONAS DE ACTUACIÓN PRIORITARIA



Zonas con potencial de radón (P90) > 300 Bq/m³

En superficie, estas zonas representan el 17% del territorio nacional.
Por Comunidad Autónoma, los porcentajes de superficie afectada son: Andalucía, 8%; Aragón 2%; Asturias, 12%; Canarias, 19%; Castilla y León, 19%; Castilla-La Mancha, 10%; Cataluña, 16%; Ceuta, 11%; Extremadura; 47% Galicia, 70%; Madrid; 36%; Murcia, 1%; Navarra, 6%; País Vasco 2%.

Mapa de Radón de Galicia

Particularidades

- Es un mapa de representatividad poblacional, no geográfica.
  - Medimos en altura.
  - No medimos en lugares donde no viva gente (no hay riesgo)
  - Medimos en todo tipo de viviendas
  - Mediciones de trazas de tres meses
  - Comenzó en 2001
  - Caracterización de radón en altura, por tipo de vivienda.
  - Detalle a nivel de sección censal, primero municipal. Las zonas más pobladas tienen más mediciones.

Mapa de Radón de Galicia

TABLE 2: Radon concentration in 19 Galician municipalities with more than 50 measurements.

Municipality (province)	*N*	GM[a] (Bq/m^3)	GSD[b]	>300 Bq/m^3
Vigo (Pontevedra)	623	129	2.4	15%
Santiago de Compostela (A Coruña)	405	116	2.5	14%
Teo (A Coruña)	226	244	2.1	38%
A Coruña (A Coruña)	225	81	2.5	2%
Ourense (Ourense)	201	161	2.4	23%
Lugo (Lugo)	171	68	2.7	8%
Outes (A Coruña)	124	234	1.8	33%
A Estrada (Pontevedra)	115	112	2.6	12%
Ames (A Coruña)	112	156	2.2	20%
Pontevedra (Pontevedra)	112	166	2.4	20%
Lalín (Pontevedra)	80	94	2.4	9%
Ferrol (A Coruña)	78	62	2.6	3%
Noia (A Coruña)	67	119	2.4	16%
Ordes (A Coruña)	63	80	2.01	3%
Redondela (Pontevedra)	60	157	2.3	27%
Boiro (A Coruña)	58	130	2.8	19%
Ribeira (A Coruña)	55	112	2.3	13%
Vilagarcía de Arousa (Pontevedra)	55	167	2.4	25%
Rianxo (A Coruña)	54	101	2.4	15%

[a]Geometric mean.
[b]Geometric mean standard deviation.

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Mapa de Radón de Galicia

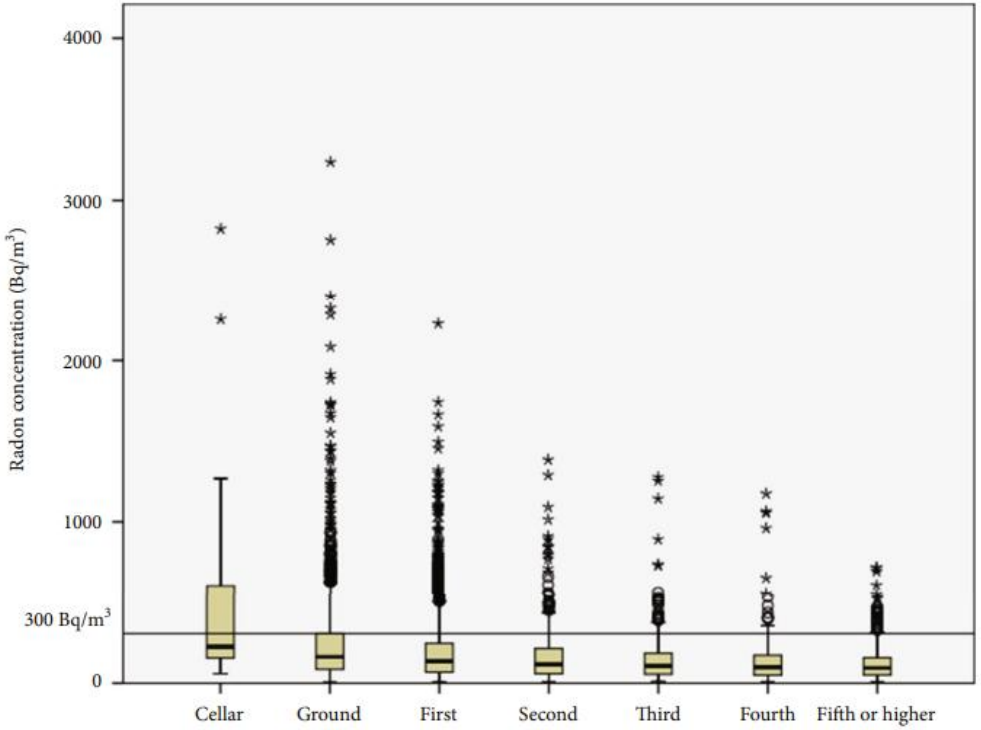


FIGURE 6: Radon concentration distribution (boxplot) sorted by floor level measured.

TABLE 3: Radon concentration by floor level measured.

Storey	*N* (%)	Median (IQR[a]) (Bq/m^3)	GM[b] (Bq/m^3)	> 300 Bq/m^3
Cellar	37 (1%)	220 (150–626)	289	41%
Ground	1823 (30%)	159 (84–299)	154	25%
1st	2507 (41%)	133 (67–239)	125	18%
2nd	567 (9%)	114 (57–211)	110	14%
3rd	379 (6%)	104 (54–181)	98	9%
4th	271 (5%)	97 (48–169)	94	8%
5th+	465 (8%)	92 (51–156)	89	7%

[a]Interquartile range presented as Percentile 25 and Percentile 75 values.
[b]Geometric mean.

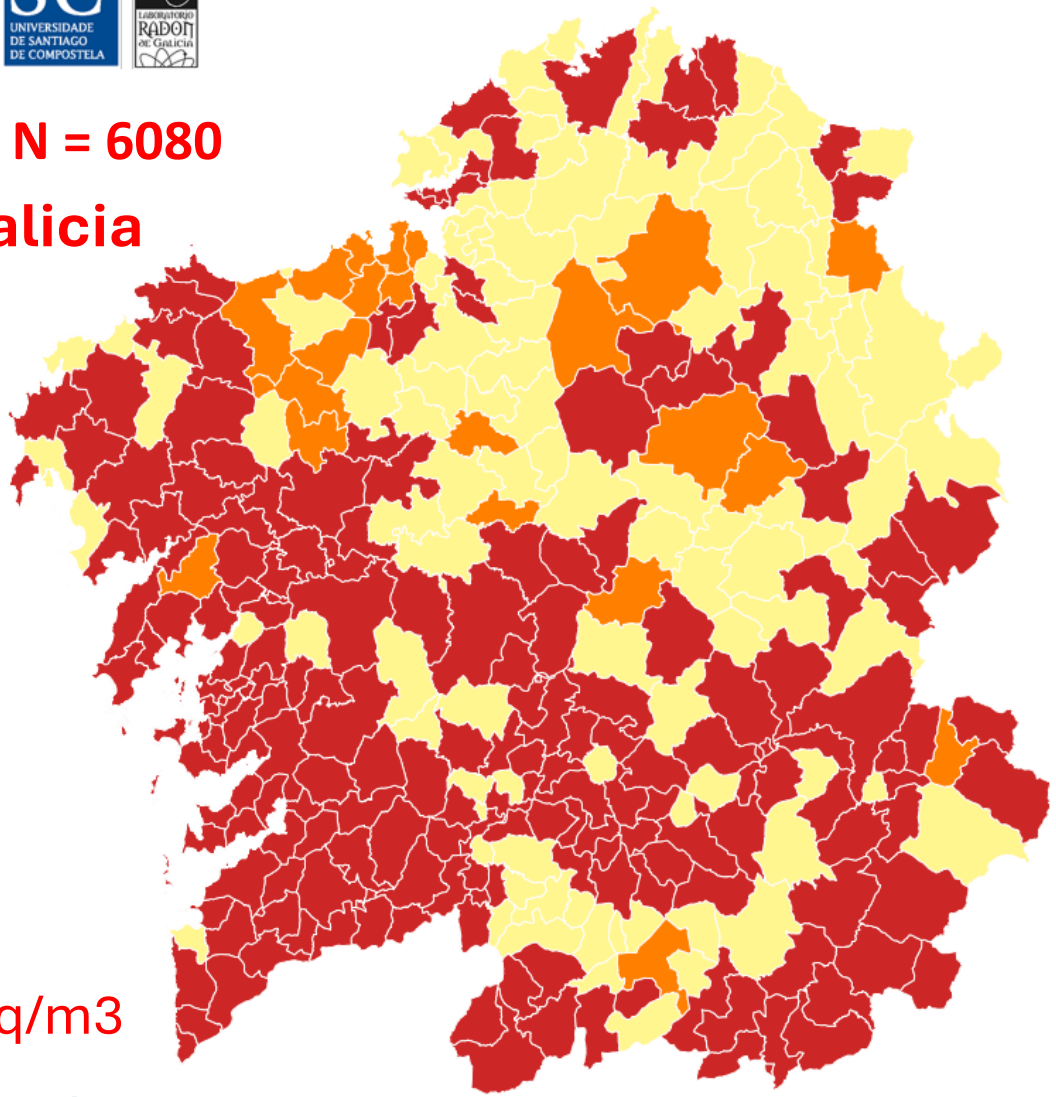
CRETUS

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Radon en Galicia

N = 6080

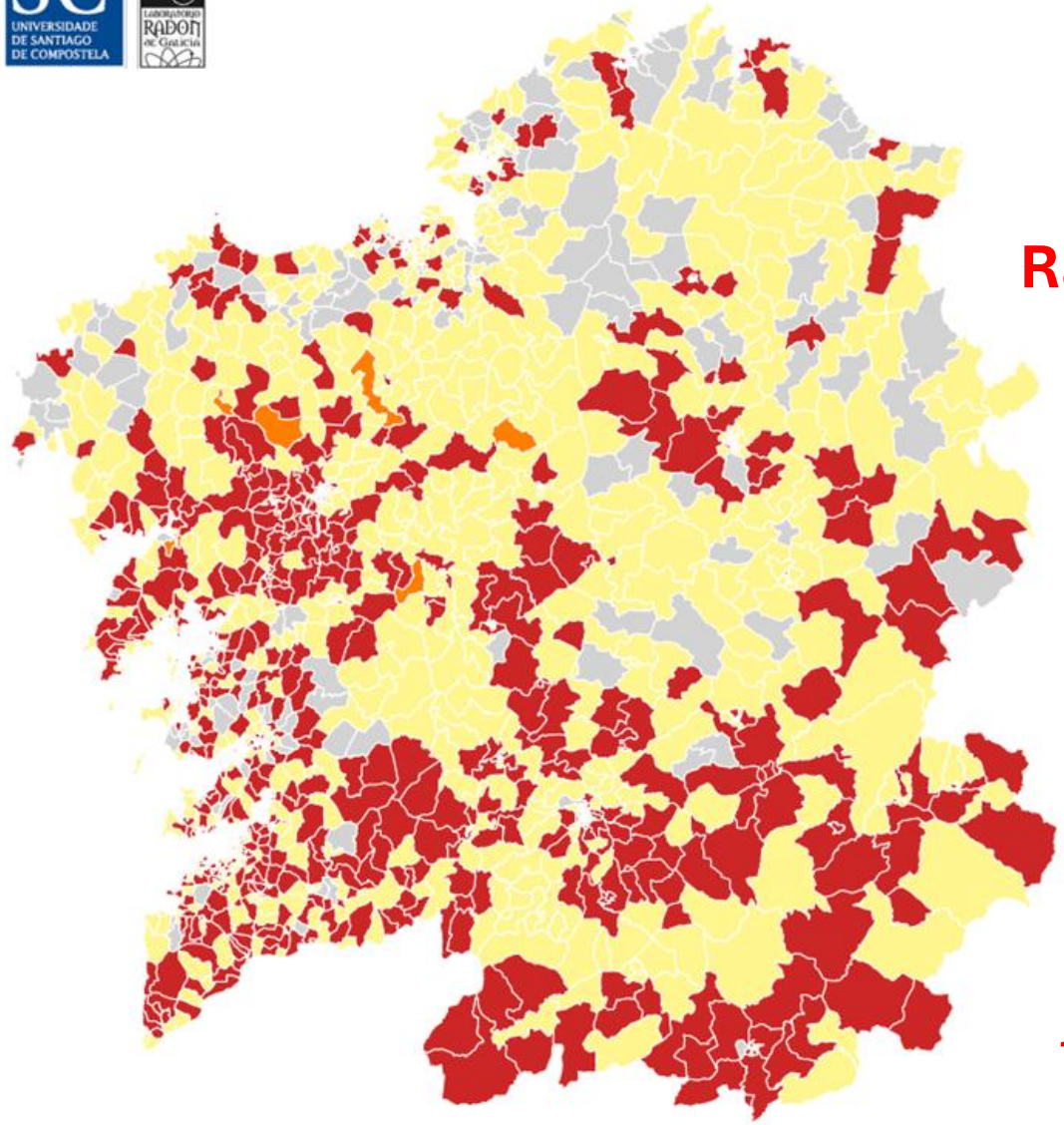
Mapa municipal



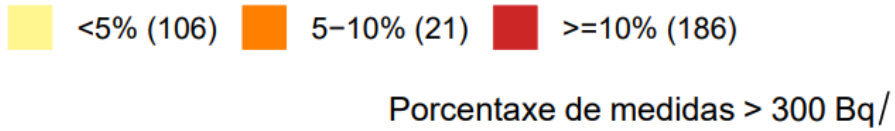
18% > 300 Bq/m3

www.radon.gal

Mapa por sección censal







Laboratorio de Radon de Galicia

Provincia

Galicia

Unidades poboación

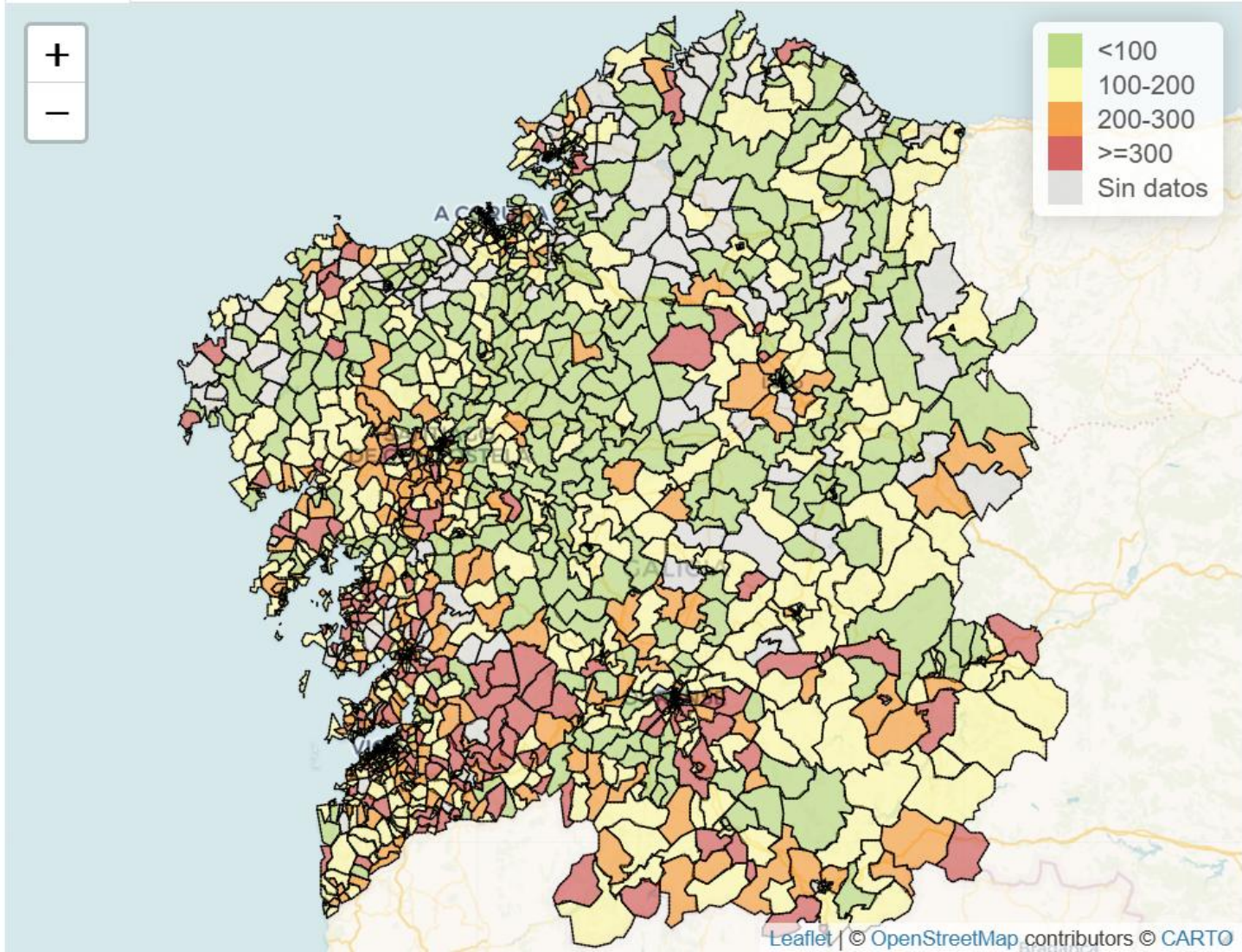
Seccións censuais

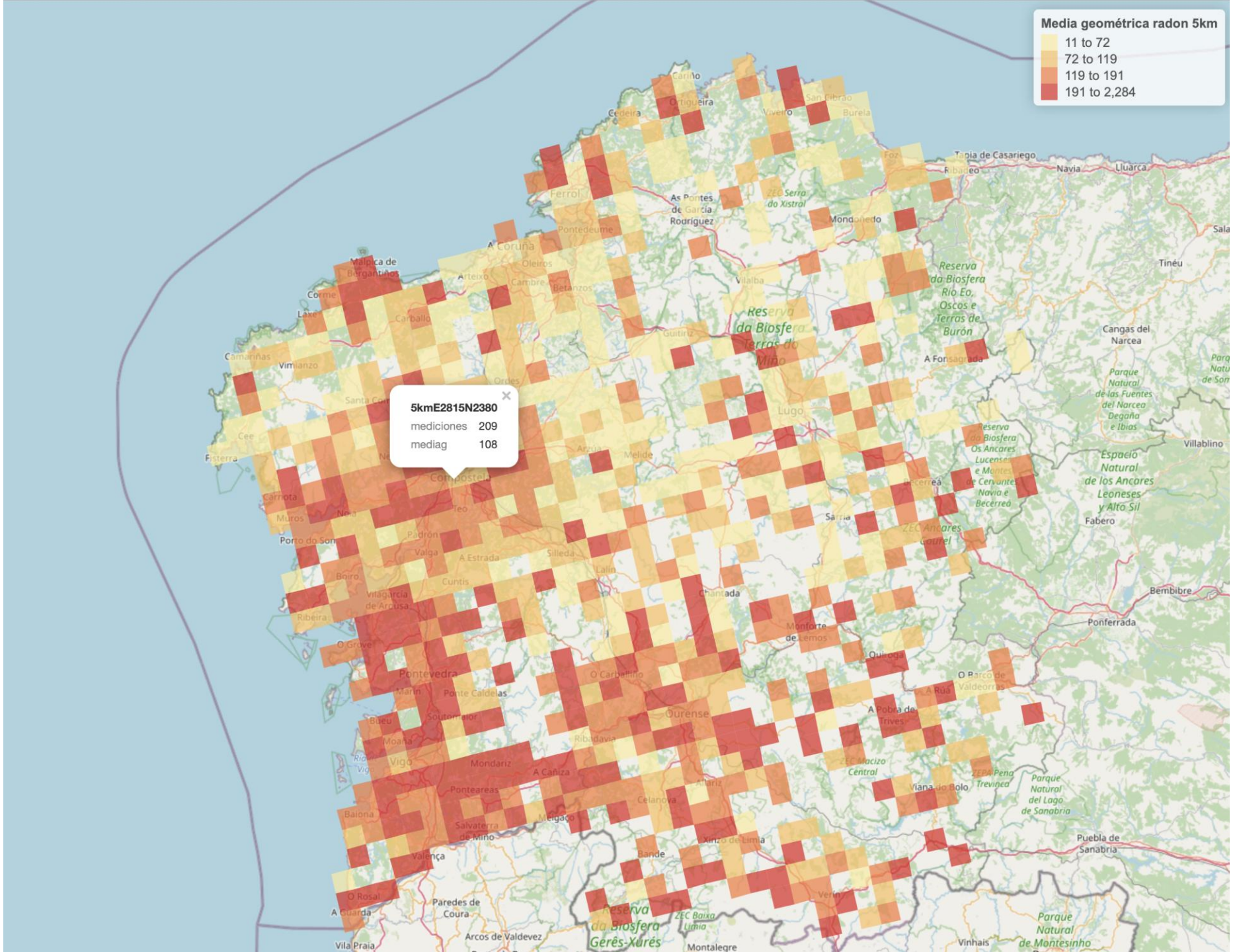
Tipo de medición

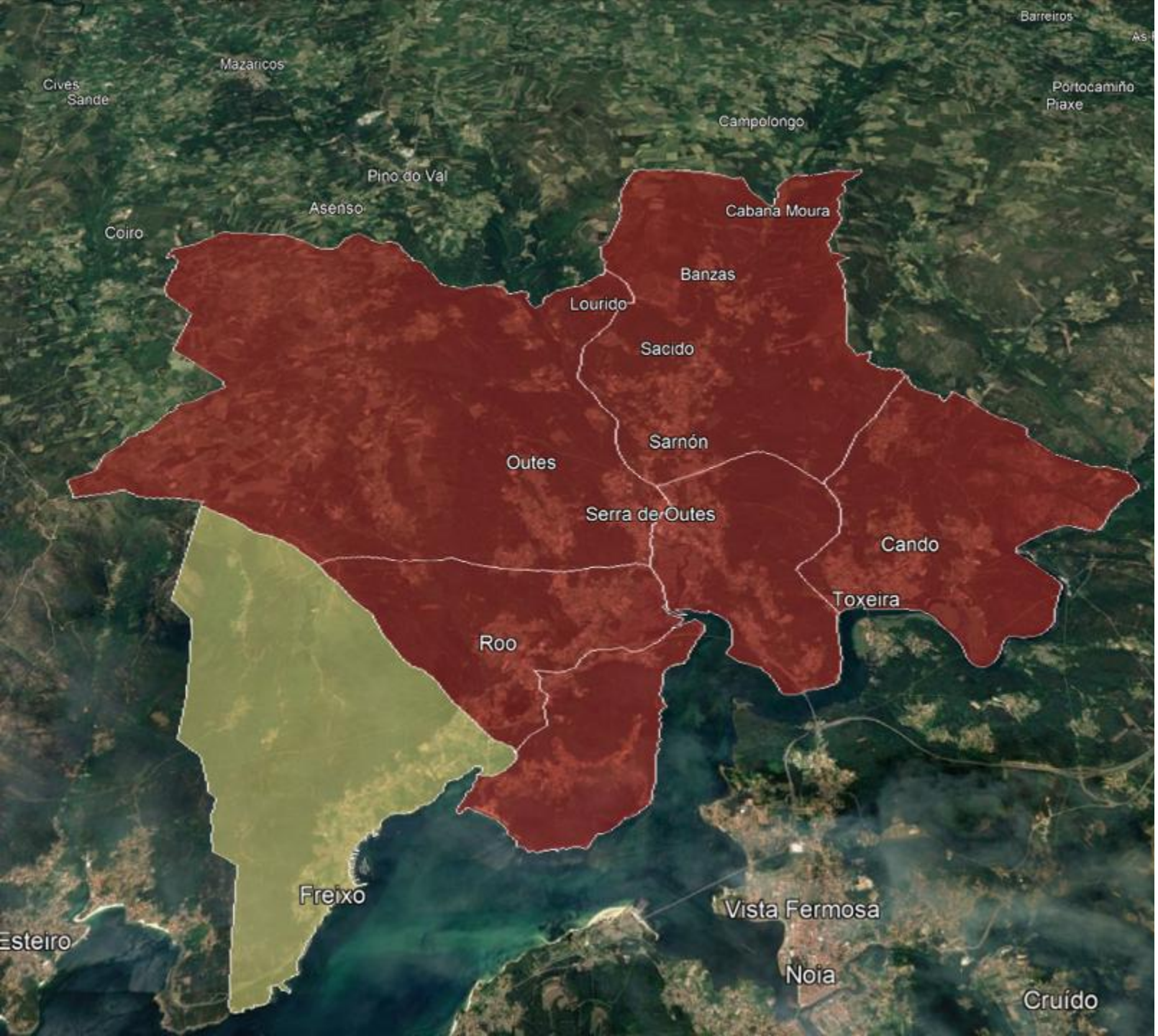
- (•) Media xeométrica
- ( ) Porcentaxe de medidas > 200Bq/m3
- ( ) Porcentaxe de medidas > 300Bq/m3

Cargar datos...

Mapa | Medicións



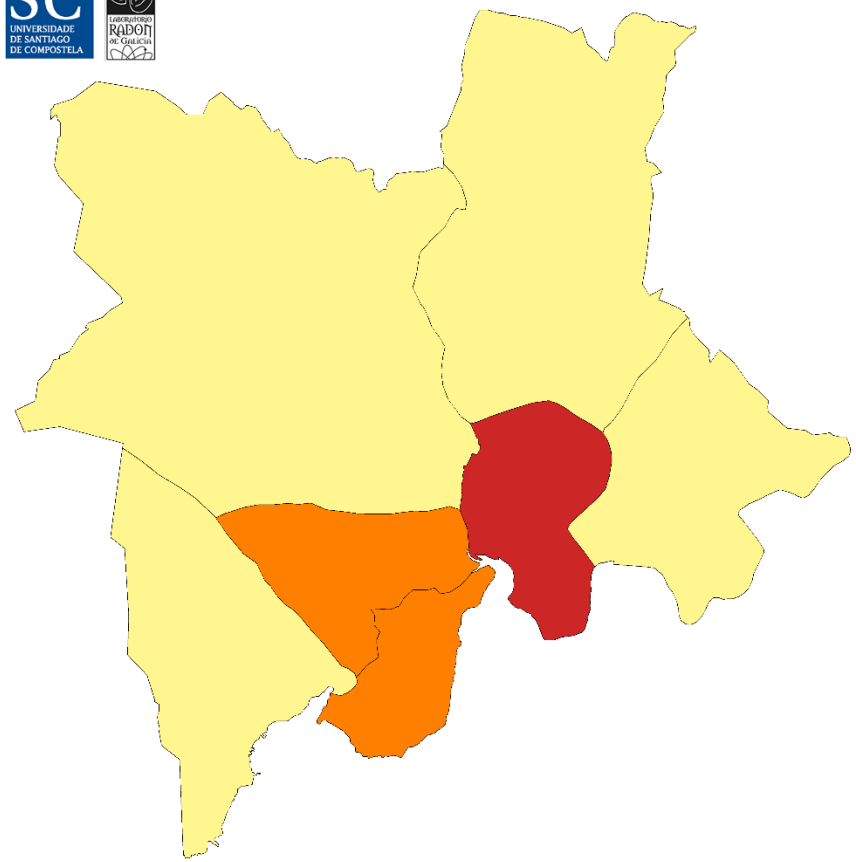

Media geométrica radon 5km
11 to 72
72 to 119
119 to 191
191 to 2,284
5kmE2815N2380
mediciones 209
mediag 108
Ferrol
A Coruña
Santiago de Compostela
Lugo
Ourense
Pontevedra
Vigo
Tapia de Casariego
Navia
Luarca
Tineu
Cangas del Narcea
Villablino
Fabero
Ponferrada
Bembibre
Puebla de Sanabria
Reserva da Biosfera Terras do Miño
Reserva da Biosfera Río Eo, Oscos e Terras de Burón
Reserva da Biosfera Os Ancares Lucenses e Montes de Cervantes, Navia e Becerreá
Espacio Natural de los Ancares Leoneses y Alto Sil
Parque Natural de las Fuentes del Narcea Degaña e Ibias
Parque Natural del Lago de Sanabria
Reserva da Biosfera Gerês-Xurés
Parque Natural de Montesinho



Mapa de Radon Outes
(Seccións censuais)

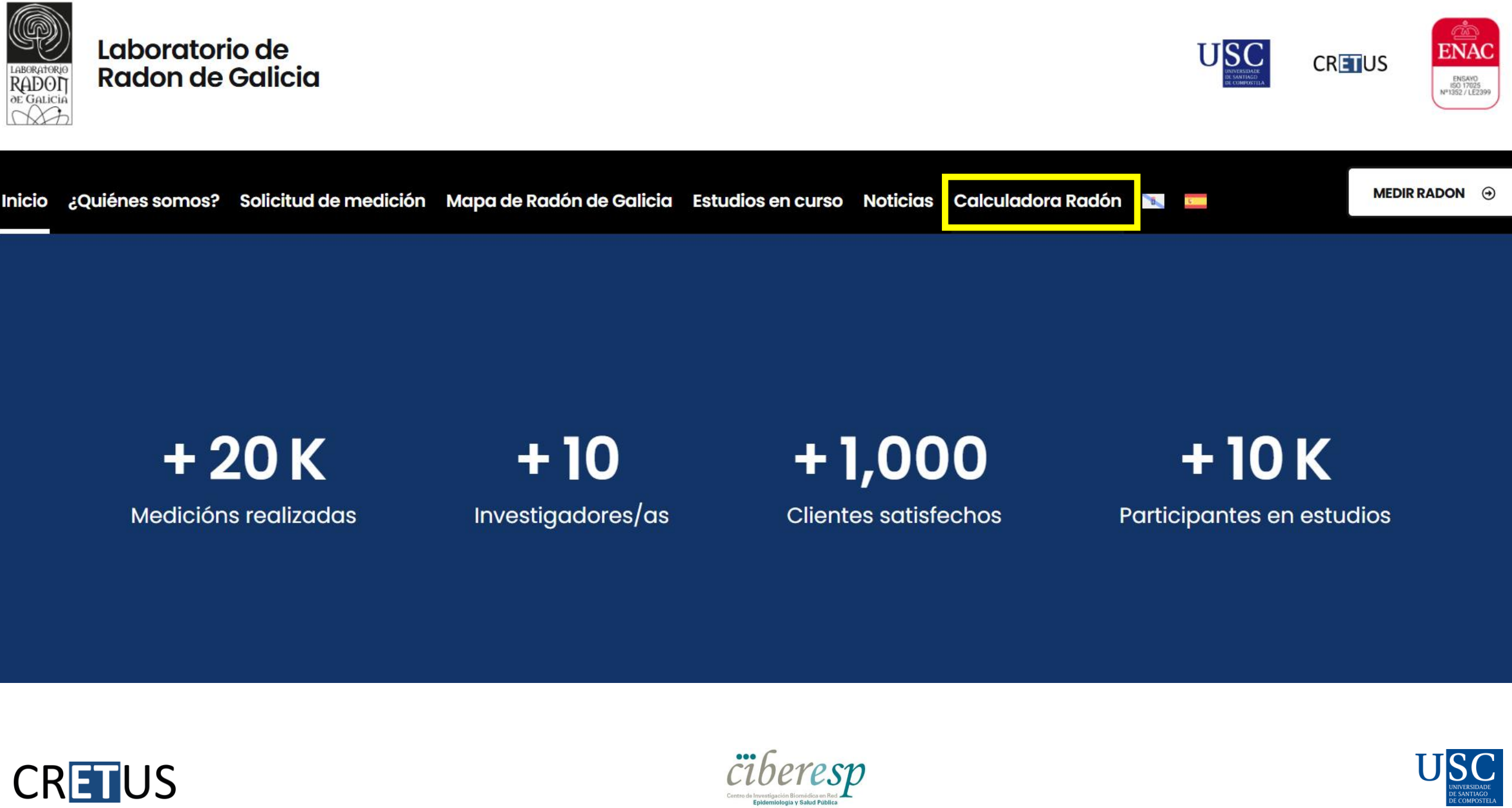
USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

LABORATORIO RADON DE GALICIA



100-200 (4) 200-300 (2) >=300 (1)

Media Xeométrica

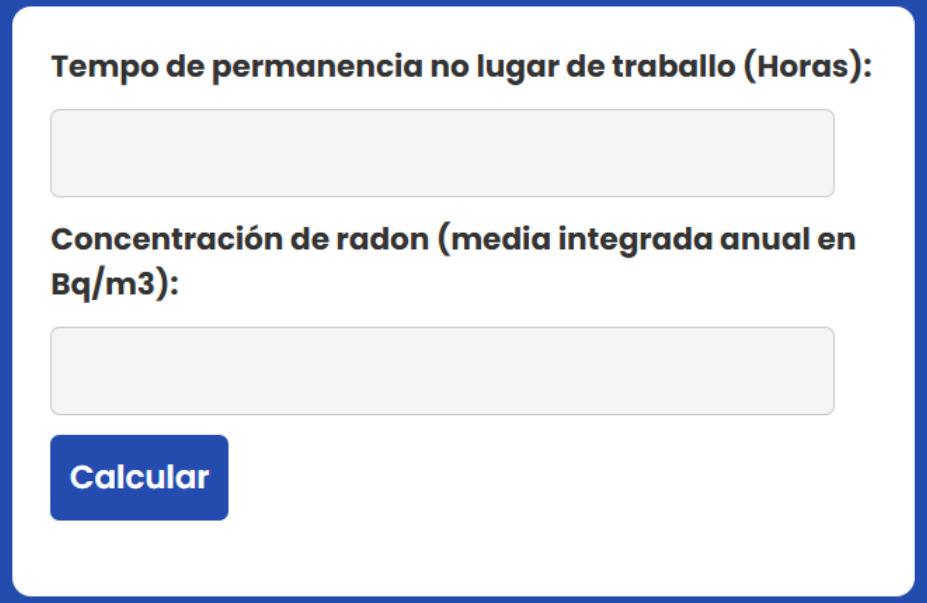

Laboratorio de
Radon de Galicia
Inicio
¿Quiénes somos?
Solicitud de medición
Mapa de Radón de Galicia
Estudios en curso
Noticias
Calculadora Radón
MEDIR RADON
+ 20 K
Medicións realizadas
+ 10
Investigadores/as
+ 1,000
Clientes satisfechos
+ 10 K
Participantes en estudios

radōnpro

La herramienta de software **RadonPro** es una solución operativa para controlar la exposición a radón mediante una planificación optimizada y vigilada del tiempo de trabajo, que permite mantener la dosis efectiva de trabajadores por debajo de 6mSv anuales. De esta forma las personas trabajadoras se mantienen como trabajadores no expuestos según el RD 1029/2022. Esta solución permite cumplir con la regulación vigente de forma sencilla y sin necesidad de dosímetros personales. RadonPro es especialmente útil en empresas donde haya un número elevado de zonas de trabajo con distintos niveles de radón, y para trabajadores multizona

Para adquirir una licencia de uso contáctanos al 8818 12278 o en laboratorioradon.galicia@usc.es

Ir a la plataforma



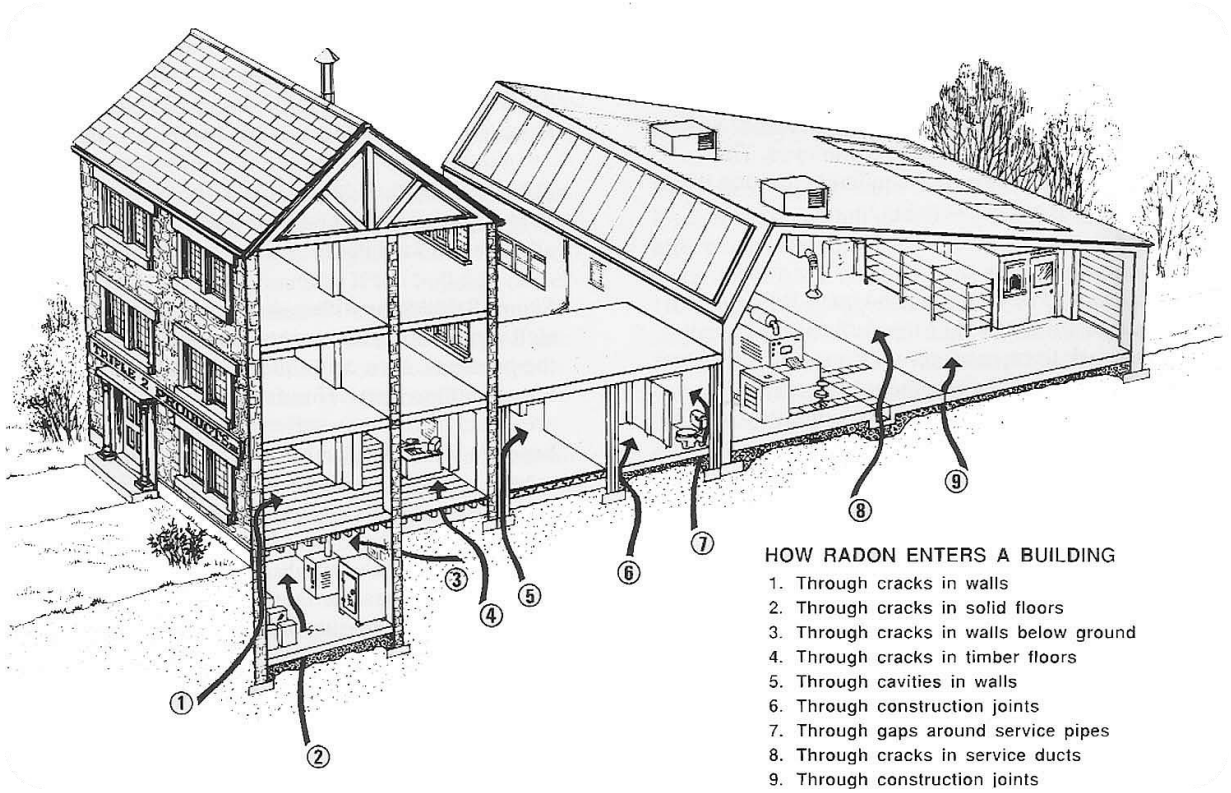
Aplicación para público general y trabajadores.

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Radón en puestos de trabajo



¿Quién puede medir radón? Sólo laboratorios acreditados

Medición basada en normas UNE 17025:2017

ENAC
Entidad Nacional de Acreditación





Segundo laboratorio español en acreditación de traza

Primero acreditado para medición en continuo

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Radón en puestos de trabajo

¿Qué sabemos?

- Exposición en puestos de trabajo subterráneos (minas)
- Exposición en otros lugares (balnearios, tierras raras)
- Exposición en puestos de trabajo “estándar”, particularmente en zonas prioritarias→ Poca información. Necesidad de más conocimiento.

- Aproximación conjunta en viviendas y puestos de trabajo en zonas prioritarias.

Un trabajador expuesto…

¿Cómo de expuesto está en comparación con su vivienda?

Editorial

Are we underestimating indoor radon exposure in radon priority areas?

Lucia Martin-Gisbert [1,2] Karl T Kelsey [3]
Alberto Ruano-Ravina [1,2,4]

mountainous areas, where there is a much higher chance for residents to be exposed to high radon concentrations both at home and at work.

In radon priority areas that are located in cities, often workplaces are located on the ground floor while dwellings occupy upper floors. In this scenario, workplace

Estimated annual effective dose (mSv)

	Home radon concentration (effective dose)			
Workplace radon concentration (effective dose)	100 Bq/m³ (5mSv)	300 Bq/m³ (14 mSv)	500 Bq/m³ (23 mSv)	700 Bq/m³ (33 mSv)
100 Bq/m³ (1mSv)	6 mSv	15 mSv	25 mSv	34 mSv
300 Bq/m³ (4 mSv)	9 mSv	**18 mSv**	**27 mSv**	**37 mSv**
500 Bq/m³ (7 mSv)	11 mSv	**21 mSv**	**30 mSv**	**40 mSv**
700 Bq/m³ (9 mSv)	14 mSv	**23 mSv**	**33 mSv**	**42 mSv**

**Dose coefficients and hours of exposure per year used for these calculations were obtained from ICRP 137 [6].*

Radón en puestos de trabajo

Algunas incertidumbres

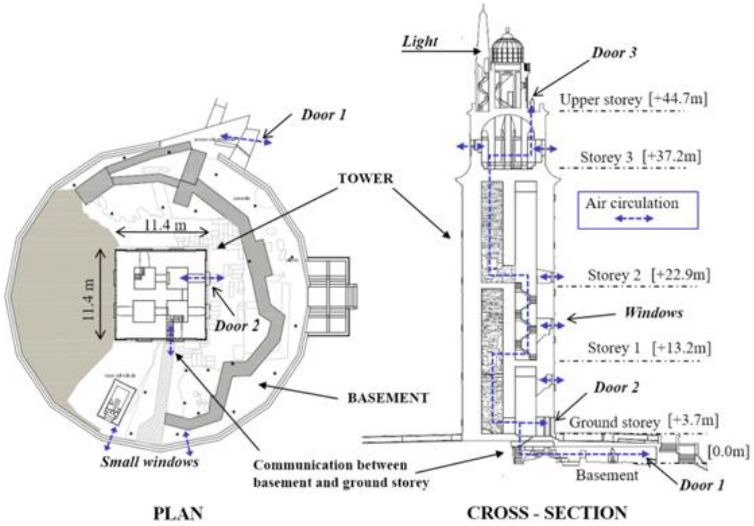
¿Qué ocurre con la variabilidad estacional?

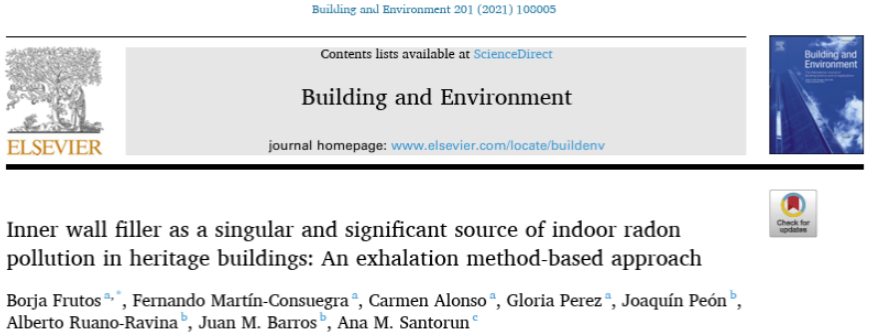
¿Qué ocurre en grandes zonas diáfanas? ¿Naves, polígonos industriales?

¿Qué ocurre en edificios históricos con material de construcción en granito?



Fig. 1. Tower of Hercules, Corunna, Spain. (Source: Ana Maria Santorum).





Building and Environment 201 (2021) 108005

Contents lists available at ScienceDirect

Building and Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/buildenv

Inner wall filler as a singular and significant source of indoor radon pollution in heritage buildings: An exhalation method-based approach

Borja Frutos [a,*], Fernando Martín-Consuegra [a], Carmen Alonso [a], Gloria Perez [a], Joaquín Peón [b], Alberto Ruano-Ravina [b], Juan M. Barros [b], Ana M. Santorun [c]

Concentración de radón por sectores de trabajo. España 2016 (248 mediciones)

Table 1
Radon concentration brown down by work sector.

Work sector	Number of radon measurements (%)	Median concentration (Bq/m^3)	Radon measurements above 300 Bq/m^3, %
Tourist	29 (11.7)	47	6.9
Education	62 (25.0)	109	22.6
Public administration	107 (43.1)	60	23.5
Health	17 (6.9)	176	37.4
Others/private sector	22 (8.9)	129	22.7
Unknown	11 (4.4)	91	0
Total	248 (100.0)	129.5	27.4

Gac Sanit. 2019;33(6):563–567

Original

Indoor radon in Spanish workplaces. A pilot study before the introduction of the European Directive 2013/59/Euratom

Alberto Ruano-Ravina[a,b,c,*], Claudia Narocki[d], María José López-Jacob[d], Ana García Oliver[e], María de la Cruz Calle Tierno[e], Joaquín Peón-González[a,c], Juan Miguel Barros-Dios[a,b,c,f]

[a] Department of Preventive Medicine and Public Health, University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela (La Coruña), Spain
[b] CIBER de Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), Spain
[c] Galician Radon Laboratory, University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela (La Coruña), Spain
[d] Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), Comisiones Obreras, Madrid, Spain
[e] Secretaría de Salud Laboral, Comisiones Obreras, Madrid, Spain
[f] Service of Preventive Medicine, University Hospital of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela (La Coruña), Spain

ARTICLE INFO

Article history:
Received 27 February 2018
Accepted 9 May 2018
Available online 18 August 2018

Keywords:
Radon
Lung cancer
Cross-sectional studies
Workplace

ABSTRACT

Objective: To explore whether there is a possible problem regarding indoor radon concentration surpassing the new European Directive 2013/59/Euratom threshold in Spanish workplaces. We also aim to find out whether radon concentration might be associated with certain characteristics of workplaces.
Method: We performed a cross-sectional study to measure indoor radon concentrations in Spanish workplaces including five different sectors (education, public administration, the health sector, the tourist sector and the private sector). To be measured, the workplace should be occupied permanently by at least one worker. Alpha-track type radon detectors were placed for at least three months and read at the Galician Radon Laboratory at the University of Santiago de Compostela. A descriptive analysis was performed on radon distribution by sector, building characteristics and number of workers affected.
Results: We faced enormous difficulties in finding volunteers for this study. Galicia and Madrid had

El 27% de los puestos de trabajo medidos superaban lo 300 Bq/m3
En Galicia este porcentaje era el 46%
En la Comunidad de Madrid era el 10.6%

Medición de radón en 3.140 puestos de trabajo en España

Environmental Research 239 (2023) 117305

Contents lists available at ScienceDirect

Environmental Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/envres



Check for updates

Radon exposure and its influencing factors across 3,140 workplaces in Spain

Lucia Martin-Gisbert [a,d], Cristina Candal-Pedreira [a,c,d], Marta García-Talavera San Miguel [e], Mónica Pérez-Ríos [a,b,c], Juan Barros-Dios [a,b,c], Leonor Varela-Lema [a,b,c], Alberto Ruano-Ravina [a,b,c,d,*]

[a] Department of Preventive Medicine and Public Health, University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain
[b] Consortium for Biomedical Research in Epidemiology and Public Health (CIBER en Epidemiología y Salud Pública/CIBERESP), Madrid, Spain
[c] Health Research Institute of Santiago de Compostela (Instituto de Investigación Sanitaria de Santiago de Compostela - IDIS), Santiago de Compostela, Spain
[d] Cross-disciplinary Research in Environmental Technologies (CRETUS), University of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain
[e] Spanish Nuclear Safety Council (CSN), Madrid, Spain

Table 2
Main characteristics of the sample (n = 3140).

Variable Categories	N (%)	Median radon (IQ range)[e] Bq/m^3	% exceeding 300Bq/m^3
Ownership type			
Public	2068 (66%)	112 (208)	21 %
Private	1072 (34%)	91 (147)	17 %
Sector			
Culture[a]	305 (10%)	137 (272)	28 %
Education[a]	1268 (40%)	124 (248)	25 %
Public service	543 (17%)	109 (202)	22 %
Financial services	320 (10%)	97 (73)	5 %
Utilities[b]	518 (16%)	66 (111)	12 %
Other[b,c]	186 (6%)	66 (119)	10 %
Public permanence			
yes	1317 (42%)	130 (242)	25%
no	1793 (57%)	92 (154)	16%
n/c	30 (1%)	–	–
Urbanization level			
Urban	2465 (78%)	104 (199)	21%
Rural	675 (22%)	89 (180)	17%
Season			
Cold	756 (24%)	79 (214)	21%
Warm	2384 (76%)	106 (188)	19%
Radon potential			
Not radon prone	161 (5%)	28 (32)	1%
Radon prone	2979 (95%)	107 (201)	21%
Floor level			
Undeground	376 (12%)	174 (275)	30%
Ground floor	1072 (34%)	107 (200)	21%
1st floor	676 (22%)	95 (179)	17%
2nd floor	385 (12%)	90 (170)	18%
Above 2nd floor	354 (11%)	95 (116)	17%[d]
n/c	277 (9%)	60 (137)	15%

Resultados generales

Datos agregados globales	
# centros	**253**
n mediciones	**3141**
Promedio y rango (Bq/m³)	220 (1-3226)
n>300 Bq/m³	623 (20%)
n>100Bq/m³	1584 (50%)



78% mediciones en zona urbana



66% mediciones en centros de trabajo de titularidad públicos



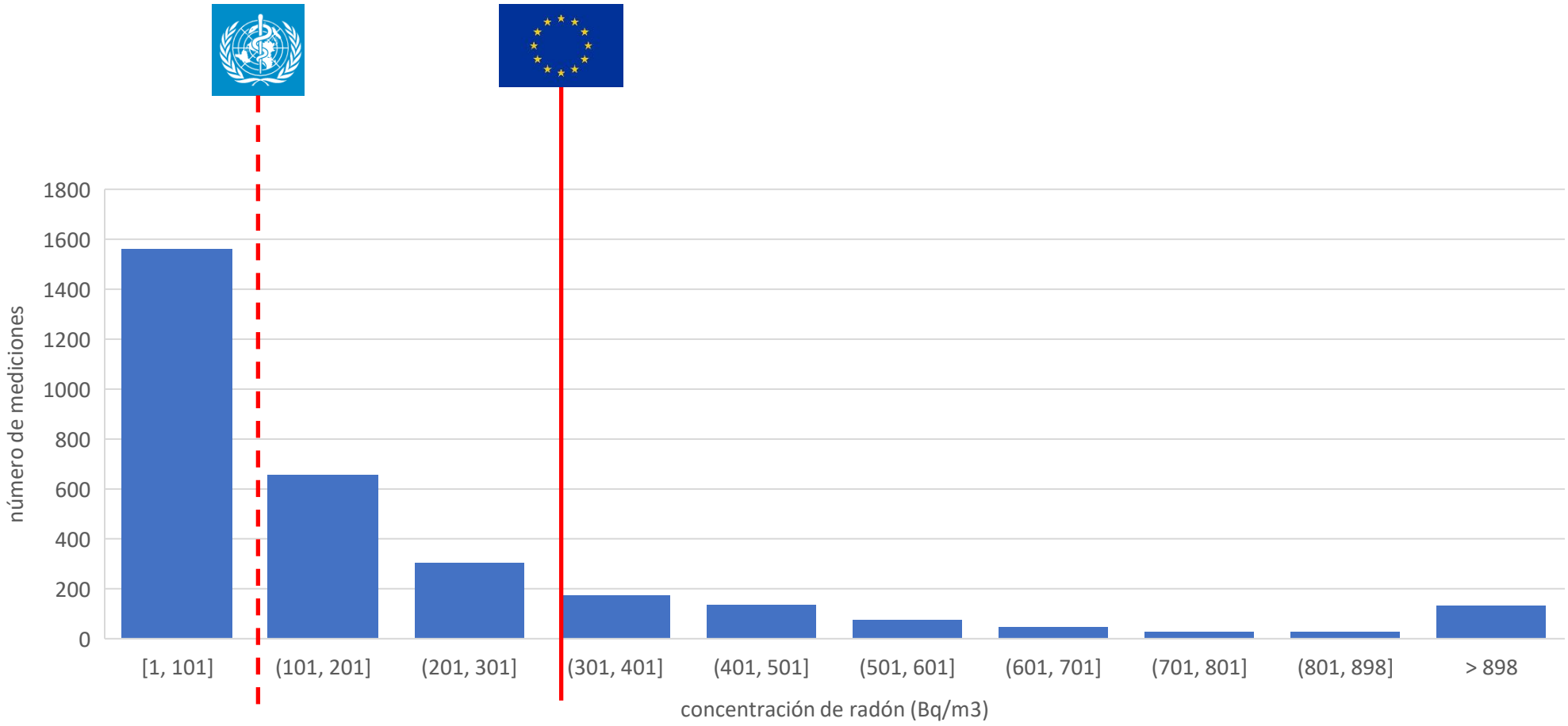
93% mediciones en zonas de alto potencial de radón



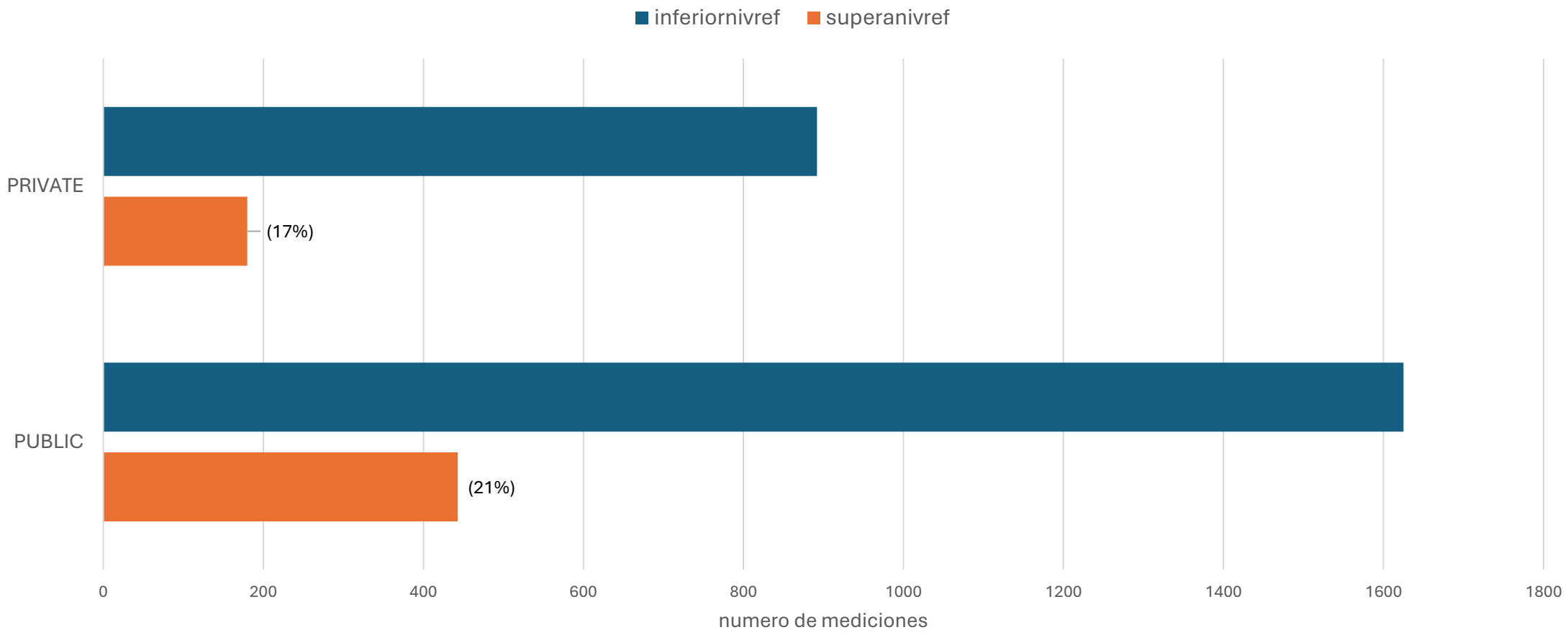
42% mediciones en bajo o primer piso

Resultados generales

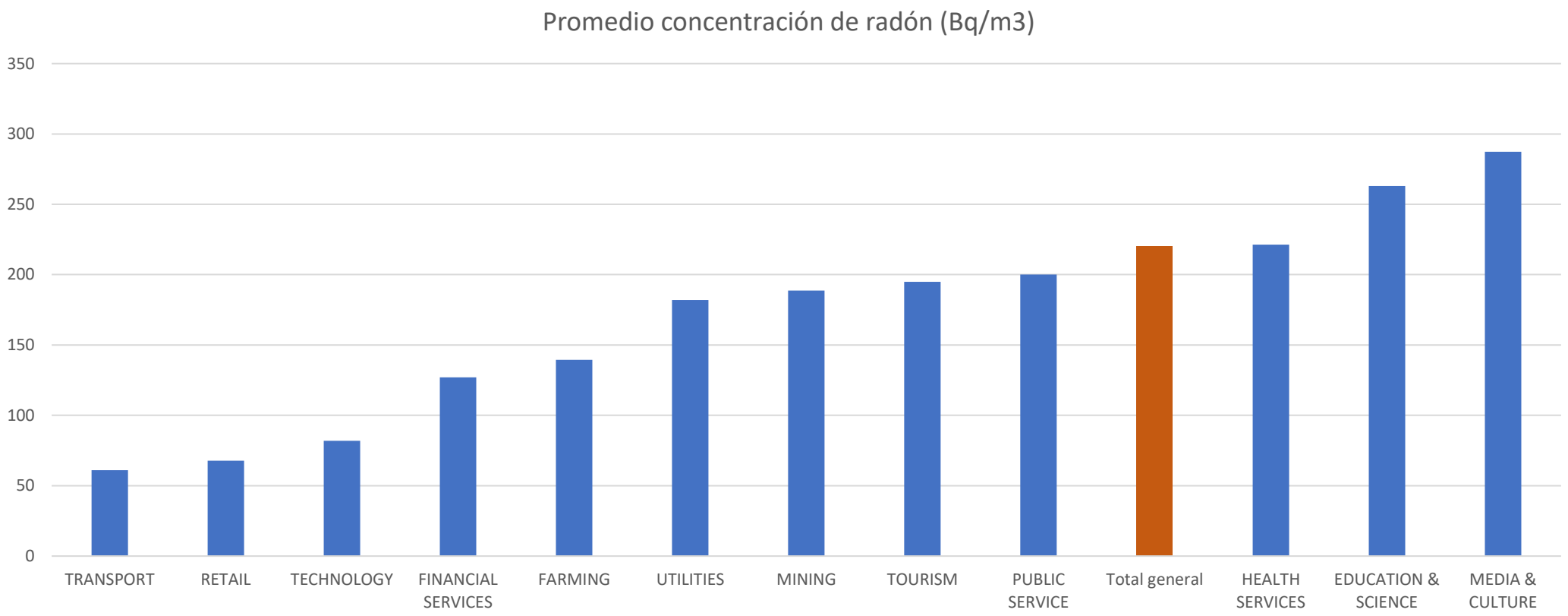
- Los resultados siguen el tipo de distribución esperada para niveles de radón



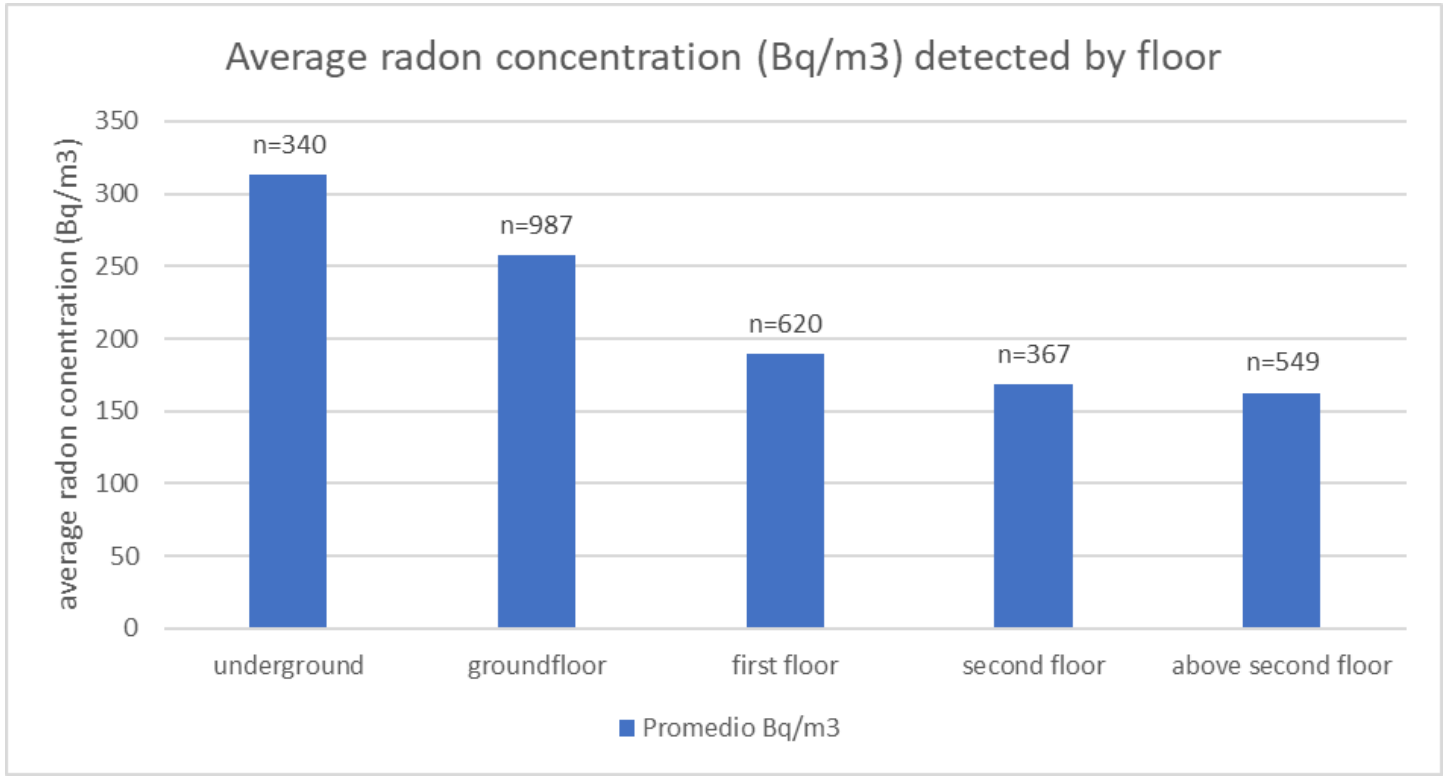
Efecto del tipo de propietario



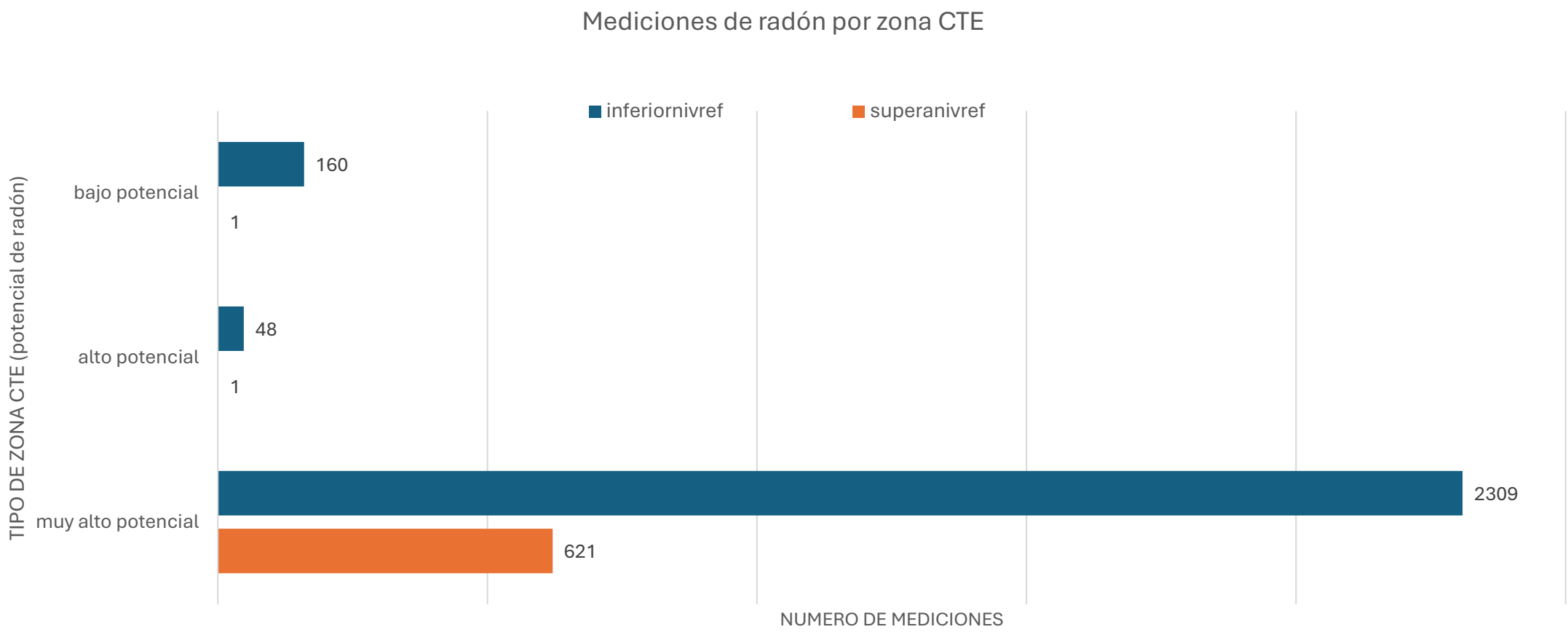
Niveles medios de radón por sector



Efecto de la altura



Efecto del tipo de zona CTE



I SIMPOSIO NACIONAL DE RADÓN LABORAL

Facultad de Medicina, Salón de Actos
Santiago de Compostela

27 septiembre 2022



INSCRIPCIÓN gratuita AQUÍ

Organiza

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Patrocina

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

iSSGA INSTITUTO DE SEGURIDADE E SAÚDE LABORAL DE GALICIA

I SIMPOSIO NACIONAL DE RADÓN LABORAL

ACTO DE APERTURA

9:30-10:00

- **Bienvenida a asistentes, ponentes y autoridades**
- **Conferencia inaugural. Situación de la exposición laboral a radón en España.** *Alberto Ruano (Univ. Santiago de Compostela)*

SESIÓN 1: RADÓN EN EL ÁMBITO LABORAL. UN PROBLEMA ANTE EL QUE ES NECESARIO ACTUAR

10:00-11:30 Modera Juan Barros (Univ. Santiago de Compostela)

- **Marco Regulador. Cómo identificar y actuar ante la exposición laboral al radón.** *Marta García-Talavera (CSN)*
- **Mediciones de radón en el ámbito laboral y la importancia de la acreditación.** *Luis Quindós (Univ. Cantabria)*
- **El papel de la inspección de trabajo en la exposición laboral a radón.** *Irene Marín (ITSS)*
- **Radón en el trabajo. La situación en Portugal.** *Heloisa Fonseca (APA)*
- **Papel de las administraciones desde el punto de vista sindical.** *Claudia Narocki (ISTAS-CCOO)*
- **Debate y preguntas**

11:30-12:00 PAUSA CAFÉ

SESIÓN 2: EJEMPLOS DE BUENAS PRÁCTICAS

12:00-13:30 Moderan Marta García-Talavera (CSN) y Luis Quindós (Univ. Cantabria)

- **Sector bancario. La experiencia de Abanca en priorización, remediación e información a los trabajadores.** *Carolina Rodríguez (Abanca)*
- **Exposiciones complejas. La experiencia de Naturgy en medición, priorización y control de la exposición.** *Teresa Raso (Naturgy)*
- **Sector público. La experiencia del ISSGA** *Lucía Ferrón (ISSGA)*
- **Remediación en el ámbito laboral.** *Dwight Lindstron (RCS)*
- **Lugares de trabajo donde no es viable una solución constructiva. Solución RadonPro.** *Lucía Martín (Univ. Santiago de Compostela)*
- **Debate y preguntas**

ACTO DE CLAUSURA

13:30-13:45

- **Conclusiones del simposio.** *Marta García-Talavera (CSN), Luis Quindós (Univ.*

Comisiones Obreras



UGT

Manual

Cuestiones que Delegados/as de Prevención han de conocer sobre el gas Radón



CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA



radōnpro

CONTROL DE LA EXPOSICIÓN AL RADÓN EN EL TRABAJO

Usuario

Contraseña

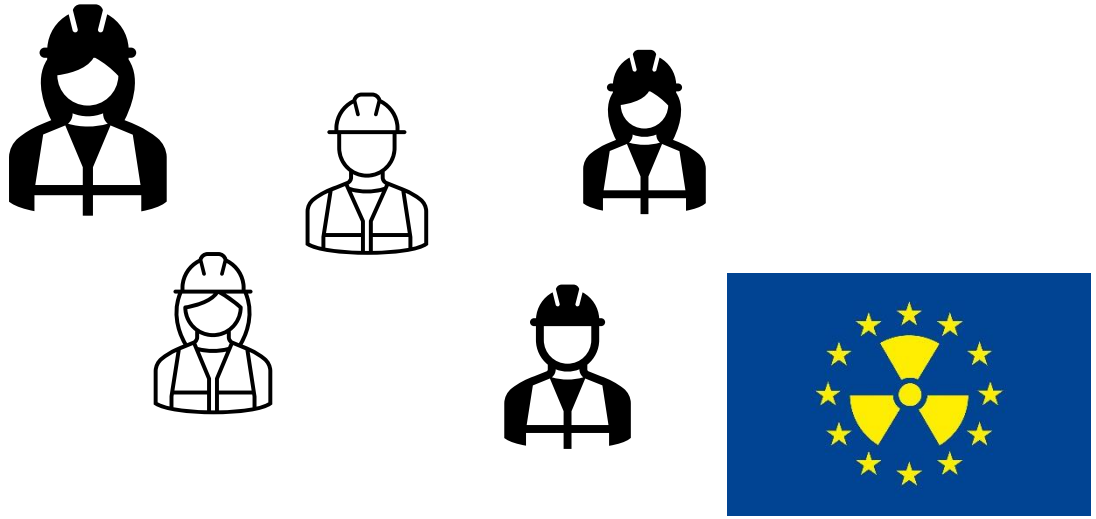
Entrar

Un proyecto de la USC



Lucía Martín de Bernardo Gisbert
Alberto Ruano Raviña
Facultade de Medicina
Laboratorio de Radón de Galicia
Universidade de Santiago de Compostela

Aportar una solución para **proteger a los trabajadores** expuestos a radón cuando no sea posible una remediación constructiva, y que cumpla con la **Directiva** 2013/39/Euratom



CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Propuesta: controlar el tiempo de trabajo para garantizar dosis anual ≤6mSv

Directiva 2013/39/Euratom
Requisitos estrictos de vigilancia si dosis efectiva<6msV

Dosis efectiva= concentración radón x ***tiempo*** *x coef.dosis*$_{ICRP}$

- ✓ Aplicación: programa de software planificación exposición a radón: muchas zonas de trabajo y trabajadores multizona.

http://radonpro.radon.gal/

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Método

Planificación (Plan)	Sesiones con tutor: Identificación de bibliografía relevante, *stakeholders y* definición del objetivo. *Octubre 2020*
Generar solución (Do)	Generación de solución mediante revisión referencias regulatorias, científicas, ejemplos de buenas prácticas, sesiones con tutor. Propuesta de solución detallada. *Noviembre 2020-febrero 2021*
Revisión (Check)	Reguladores (CSN) *febrero 2021* Empleadores (sector energético) *marzo 2021* Trabajadores (ISTAS-CCOO) *abril 2021*
Implementación (Act)	*Actualmente:* Programa de software comercial Registro propiedad intelectual Plan de comercialización

CRETUS

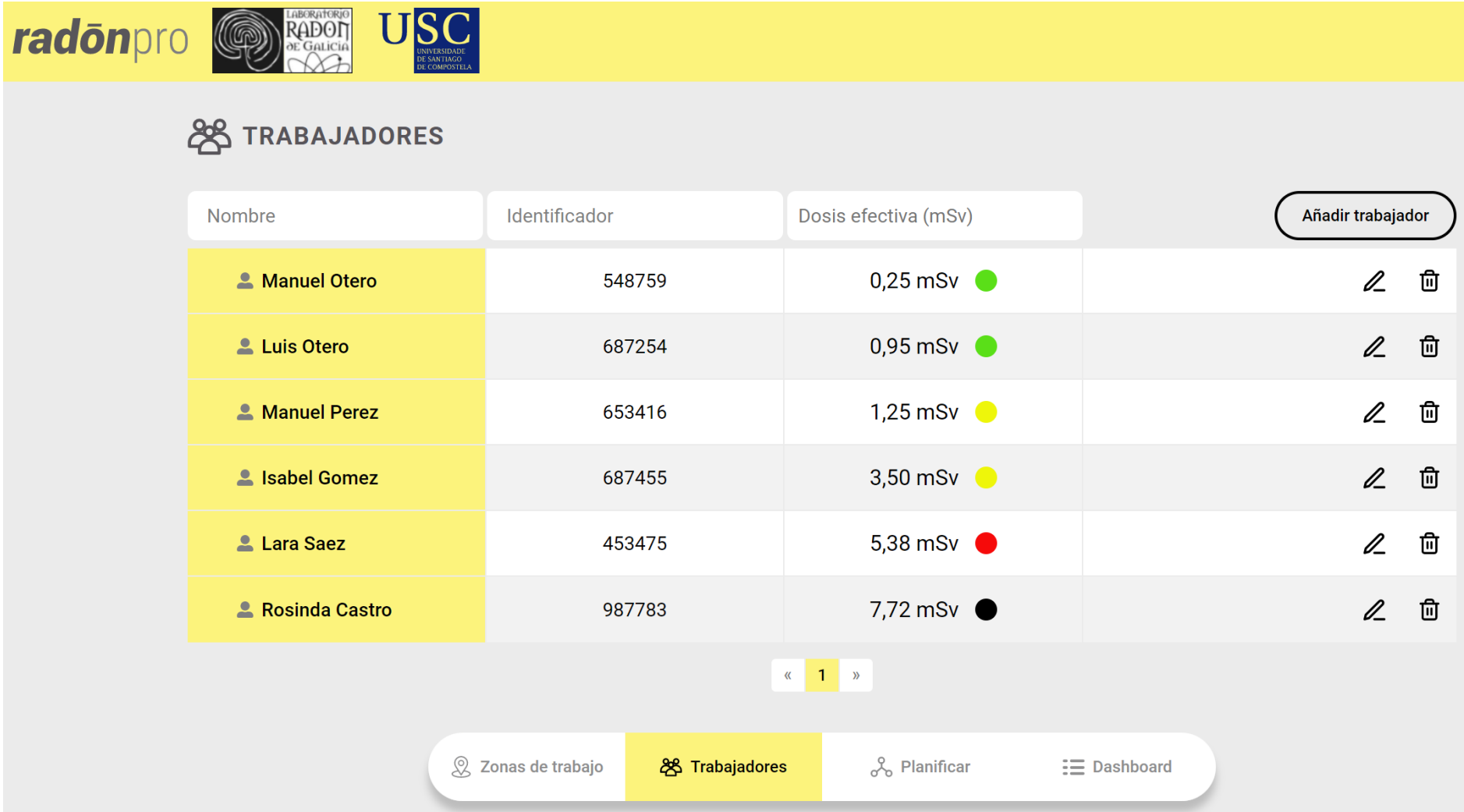
ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Radonpro. Control de la exposición a radón usando criterios operacionales

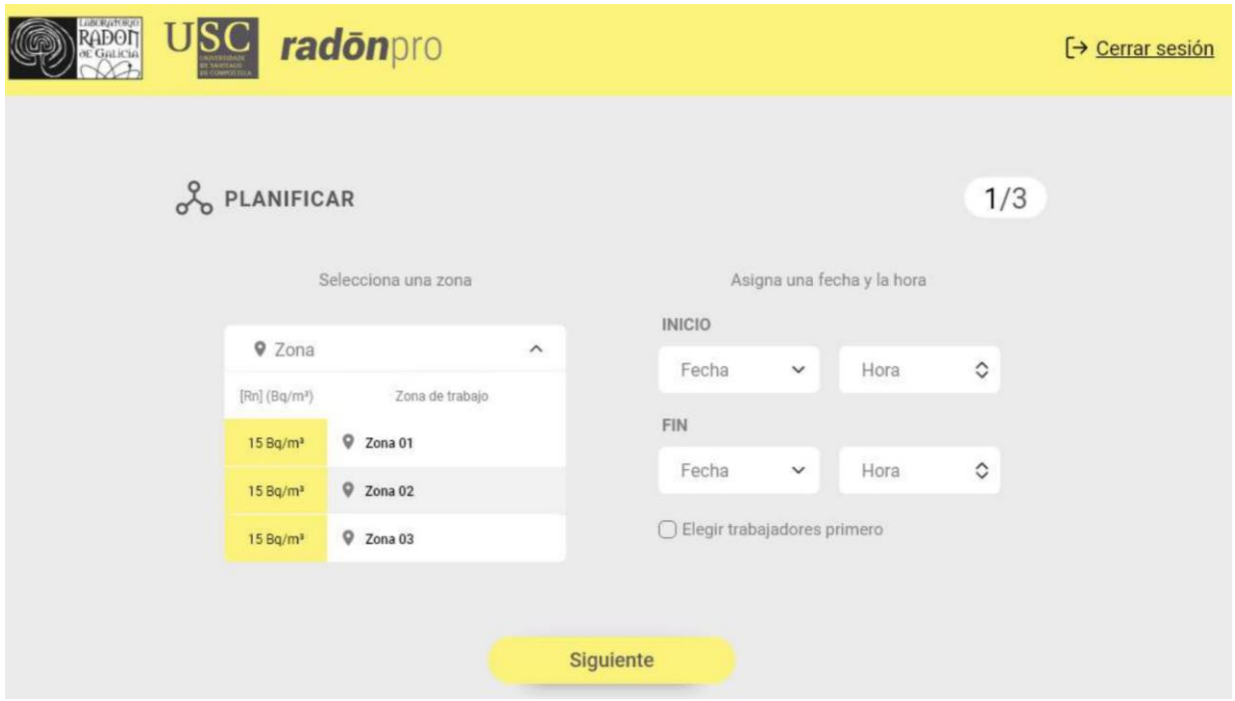
Radonpro

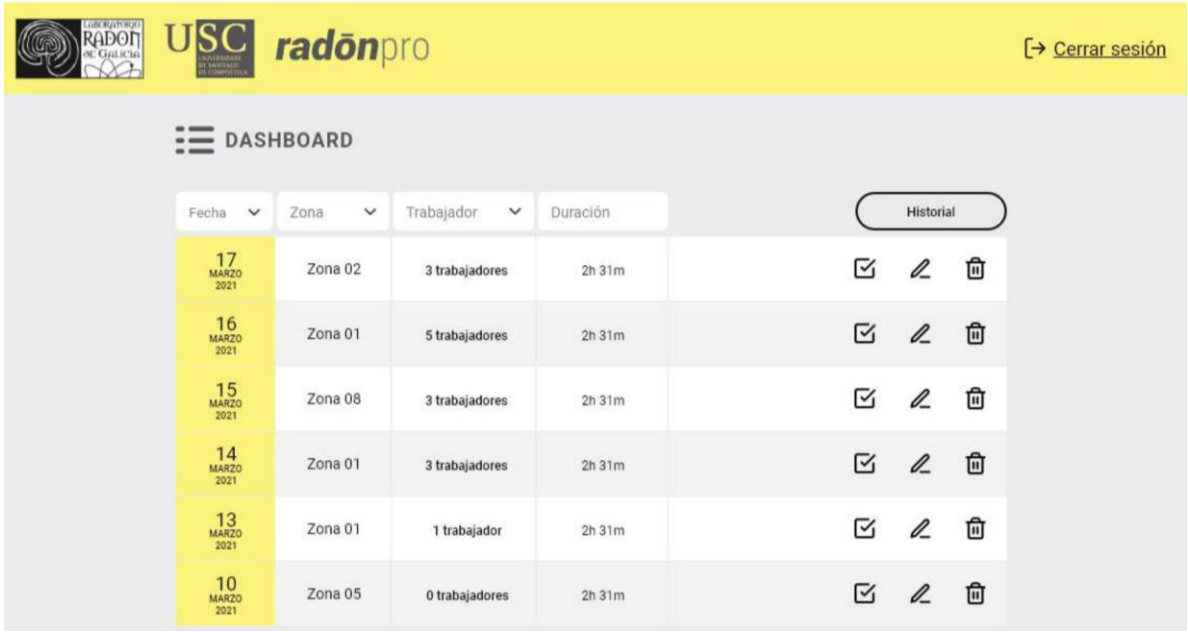
Registro
de propiedad intelectual




radōnpro
Cerrar sesión
ZONA DE TRABAJO
TRABAJADOR
PLANIFICAR
DASHBOARD


radōnpro
Cerrar sesión
ZONA DE TRABAJO
Zona
[Rn] (Bq/m³)
Añadir zona
Zona 01 15 Bq/m³
Zona 01 15 Bq/m³
Zona 01 15 Bq/m³
Zona 01 15 Bq/m³
Zona 01 15 Bq/m³
Zona 01 15 Bq/m³
1 2 3 4 5 6 7


radōnpro
Cerrar sesión
PLANIFICAR
1/3
Selecciona una zona
Zona
[Rn] (Bq/m³)
Zona de trabajo
15 Bq/m³ Zona 01
15 Bq/m³ Zona 02
15 Bq/m³ Zona 03
Asigna una fecha y la hora
INICIO
Fecha
Hora
FIN
Fecha
Hora
Elegir trabajadores primero
Siguiente


radōnpro
Cerrar sesión
DASHBOARD
Fecha
Zona
Trabajador
Duración
Historial
17 MARZO 2021 Zona 02 3 trabajadores 2h 31m
16 MARZO 2021 Zona 01 5 trabajadores 2h 31m
15 MARZO 2021 Zona 08 3 trabajadores 2h 31m
14 MARZO 2021 Zona 01 3 trabajadores 2h 31m
13 MARZO 2021 Zona 01 1 trabajador 2h 31m
10 MARZO 2021 Zona 05 0 trabajadores 2h 31m

NUEVO PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. ENCARGO DEL MINISTERIO DE SANIDAD

MINISTERIO DE SANIDAD

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Revisión de evidencia y buenas prácticas de vigilancia sanitaria específica en personas expuestas a radón ocupacional

Autores:

Lucía Martín-Gisbert, Alberto Ruano Raviña
Departamento de Medicina Preventiva, Facultad de Medicina
Universidad de Santiago de Compostela

Encargo de protocolo específico de vigilancia de la salud para trabajadores expuestos a radón 2024-2025

Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica de Personas Trabajadoras Expuestas a Radón

Autores*:

Autores	Filiación
Aitor Gisasola Yeregi	Osalan. Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laboral
Alberto Ruano Raviña	CRETUS, Universidad de Santiago de Compostela (USC)
Carlos Sáinz Fernández	Universidad de Cantabria (UC)
Carmen Mancheño Potenciano	Confederación Sindical de Comisiones Obreras (CCOO)
Cristina Candal Pedreira	Universidad de Santiago de Compostela (USC)
Cristina Martínez González	Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR).
Fernando Sierra Diaz	Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR)
Guadalupe García	Universidad de Santiago de Compostela (USC)
Lucia Martín de Bernando Gisbert	CRETUS, Universidad de Santiago de Compostela (USC)
Marta Garcia Tavalera San Miguel	Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)
Monsterrat García Gómez	Ministerio de Sanidad
Nieves Lorenzo Espeso	Instituto de Seguridade e Saúde Laboral de Galicia (ISSGA)
Virginia Calvo de Juan	Grupo Español de Cáncer de Pulmón (GECP)

*en orden alfabético

Radón y ciudadanía.

Laboratorio de Radon de Galicia

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

CRETUS

ENAC ENSAYO ISO 17025 Nº1352 / LE2399



https://www.youtube.com/watch?v=AU7EwRUlMZU

¿Alarma? No se debe alarmar pero sí actuar



El futuro

- Mejorar el conocimiento de su efecto en la salud
- Conocer los mecanismos carcinogénicos.
- Efecto global de la radiación ionizante (radón más otras)

- Necesitamos mediciones individuales
- Implicación de administraciones y ciudadanos.
- Planes globales, comprensivos y multidisciplinares frente a radón (Plan Nacional de Radón, Programa Reduce Radon).

Efectos del radón en la salud humana. Radón en el trabajo
Mapas de Radón

Alberto Ruano Raviña
Área de Medicina Preventiva y Salud Pública
Universidad de Santiago de Compostela

CRETUS

ciberesp
Centro de Investigación Biomédica en Red
Epidemiología y Salud Pública

USC
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Material suplementario

WHO Handbook on indoor radon. Se puede descargar aquí la versión en castellano (https://iris.who.int/handle/10665/161913)

Estudio pooling de casos y controles español sobre radón y cáncer de pulmón en nunca fumadores realizado en España. Ver pdf

Estudio de cohortes sobre radón y otros tumores. Ver pdf

Artículo pooling europeo sobre radón y cáncer de pulmón. El más citado. https://www.bmj.com/content/330/7485/223

Artículo sobre radón en América del Sur. Estudios realizados y normativa. https://www.mdpi.com/1660-4601/17/12/4550

Artículo sobre radón y efectos moleculares. https://link.springer.com/article/10.1007/s12094-023-03308-0

Artículo sobre concentración de radón en 3140 puestos de trabajo españoles. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001393512302109 6?via%3Dihub

Artículo sobre el mapa de radón de Galicia. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/ina/4176561

Vídeo sobre radón y cómo reducirlo. Producto de ciencia ciudadana. https://www.youtube.com/watch?v=AU7EwRUlMZU

Aplicaciones de Isotopos Radiactivos para estudios ambientales
Abril 2025

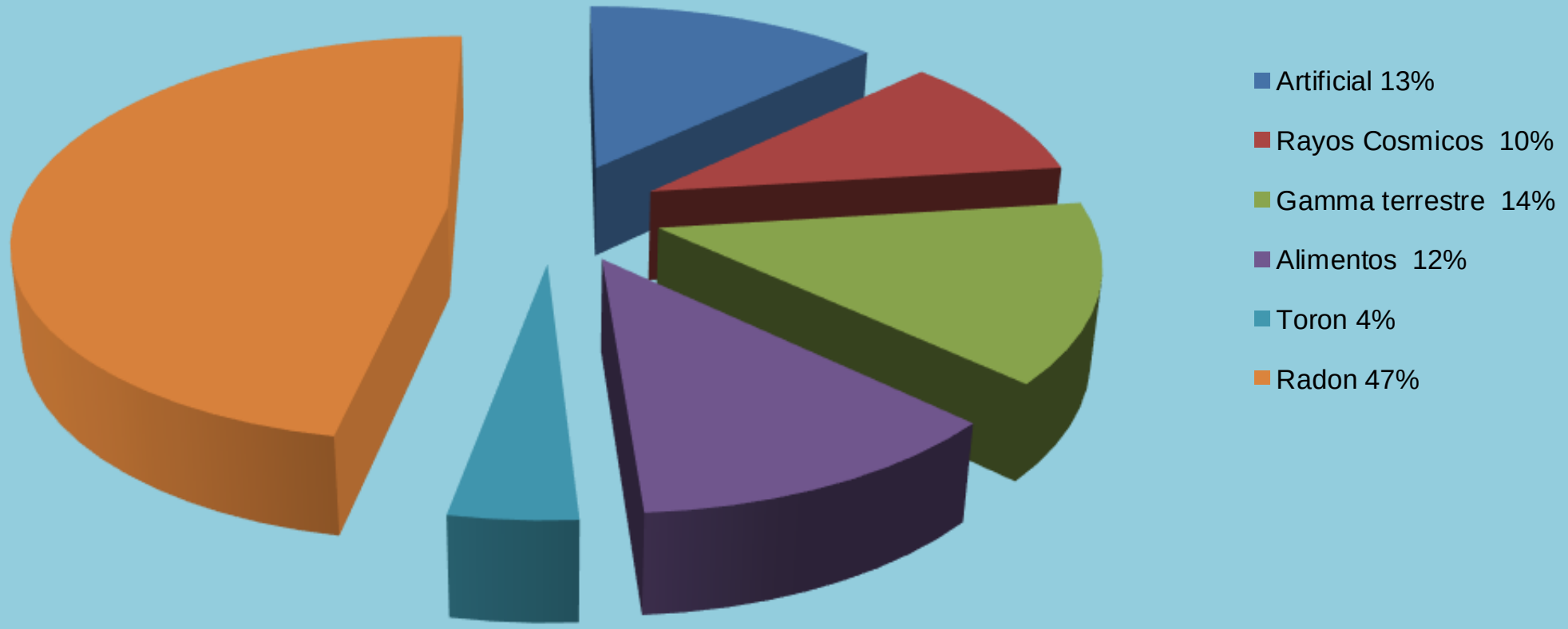
Ing. Jorge Martínez Gastelú
LABORATORIO DE RADIOQUIMICA Y RADON
jmartinez@ipen.gob.pe



INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR - IPEN

Radón en el medio ambiente

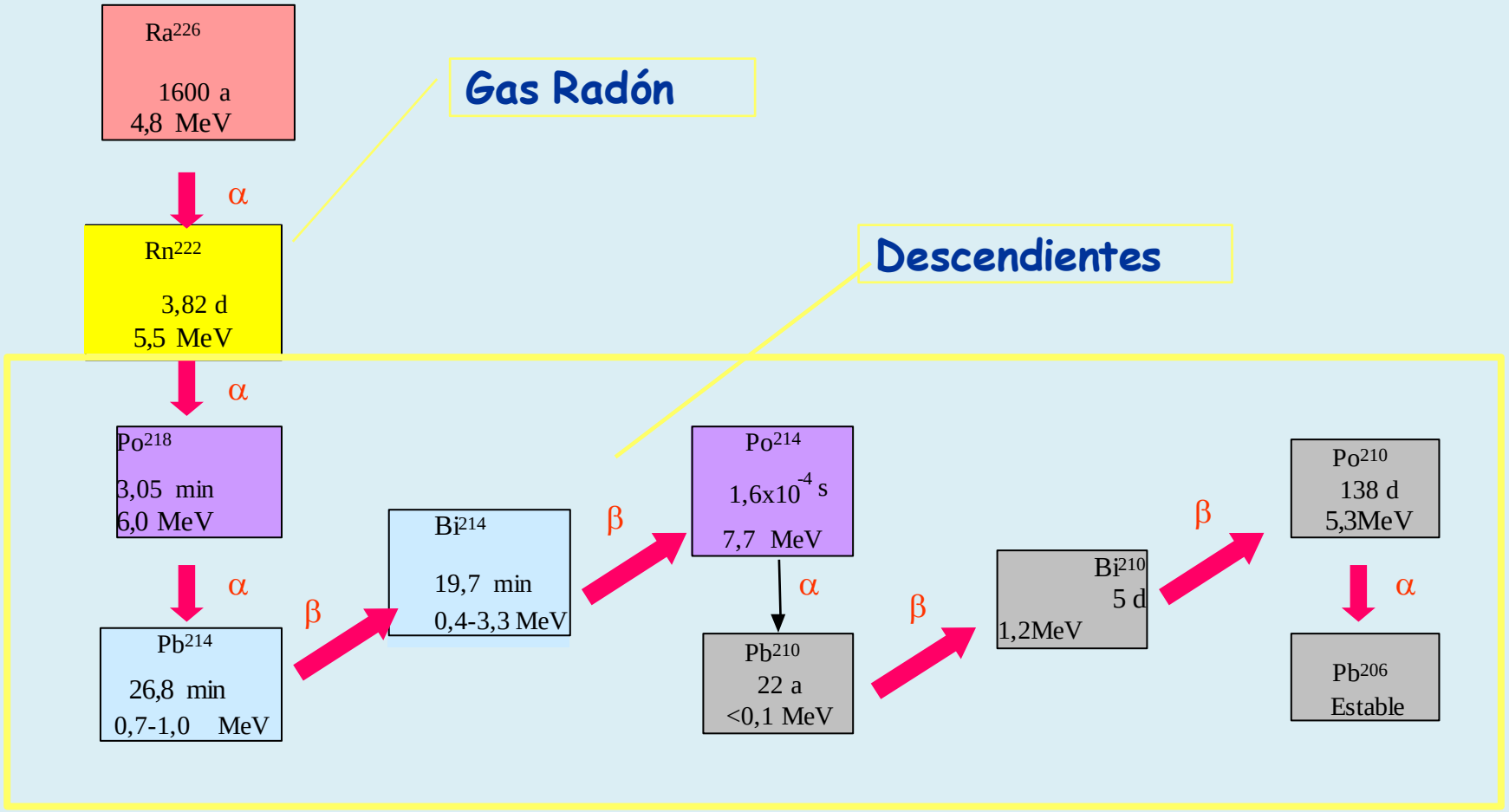
Exposición promedio del Hombre a fuentes Naturales y artificiales



Radiactividad natural 87%, artificial 13%

Radón en el medio ambiente

Cadena de desintegración del U^{238}



Fuentes de radón en el medio ambiente

Fuentes principales del radón en el medio ambiente

- Suelo
- Aguas subterráneas
- Océanos
- Gas natural
- Combustión de carbón y petróleo

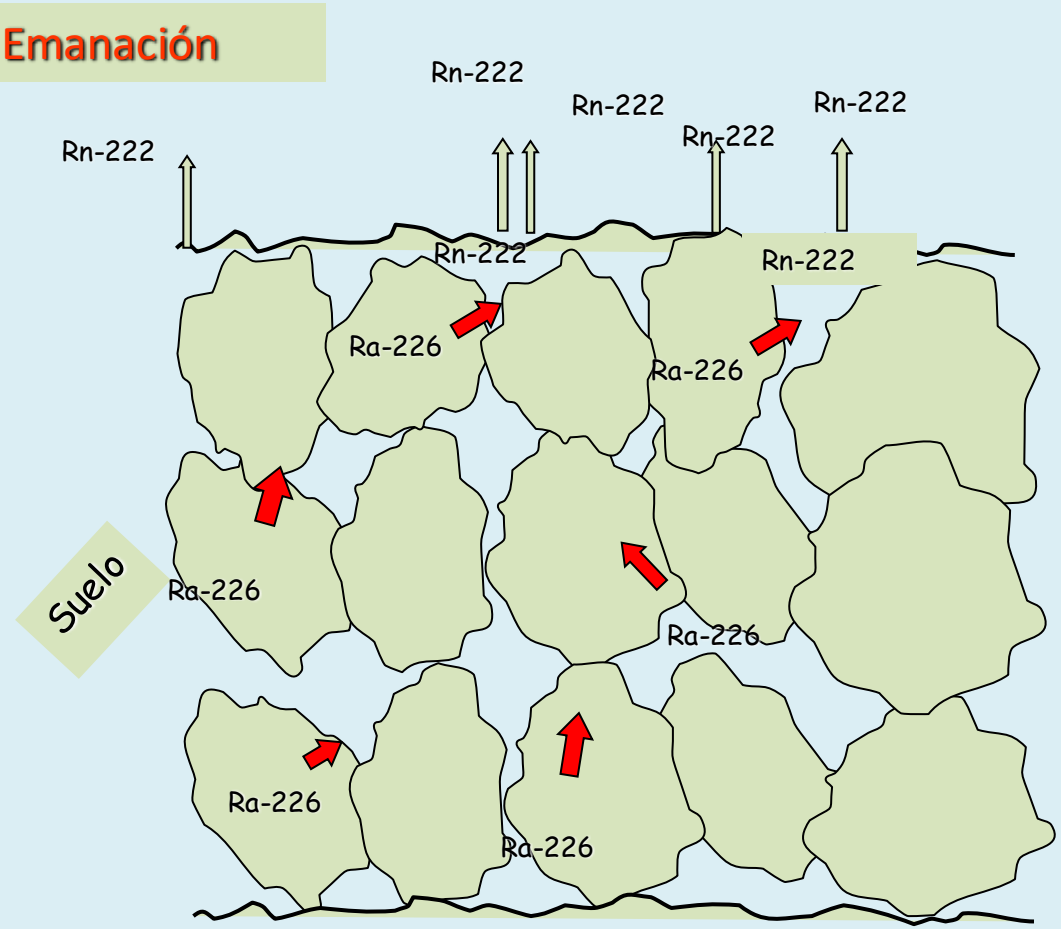
La Concentración de Rn atmosférico a nivel del suelo esta regida por :

- Tasa de emanación
- Capacidad de dilución del aire atmosférico
- Condiciones meteorológicas

Mecanismo del radón en el suelo

Factores que influyen en la exhalación de radón en el medio ambiente			
Factor	**Concepto**	**Rango normal de variación**	**Consecuencia al aumentar el valor del factor**
Actividad del Uranio y Radio-226 (Bq/kg,)	Número de desintegraciones por unidad de masa. (1ppm de uranio en equilibrio $\rightarrow$ 12.3 Bq/kg.	1- 3000	Aumento de radón
Fracción de emanación	Fracción de radón 222 emitida desde los granos de roca o suelo a los poros que los rodean	0.2 –0.4	Aumento de radón
Coeficiente de difusión	Trasmisividad del radón para atravesar la capa de suelo depende de la temperatura	0.2 a 2 x 10^{-4}	Aumento de radón
Porosidad (p)	$P = 1 - \rho / \gamma \cdot \rho_{(agua)}$	0.25 a 0.45	Aumento de radón
Humedad (θ) Vol_{agua} (cm^3)/vol $_{total}$ (cm^3)	Fracción de saturación = Vol_{agua} /vol $_{poros}$	6 a 35	Disminución de radón
Densidad seca (ρ)	g/cm^3	1.5 a 1.8	Disminución de radón
Peso específico (γ)	ρ (roca o suelo)/ ρ (agua)	2.5 a 2.8	Disminución de radón

Mecanismo del radón en el medio ambiente



Emanación:

El Radón es capaz de viajar entre los poros del suelo hasta alcanzar la superficie debido a la diferencia de presión entre los poros por donde viaja el gas y el espacio cerrado, estableciéndose un flujo desde el terreno hasta el exterior.

Los mecanismos son por gradiente de presión (convección) y por gradiente de concentración (difusión).

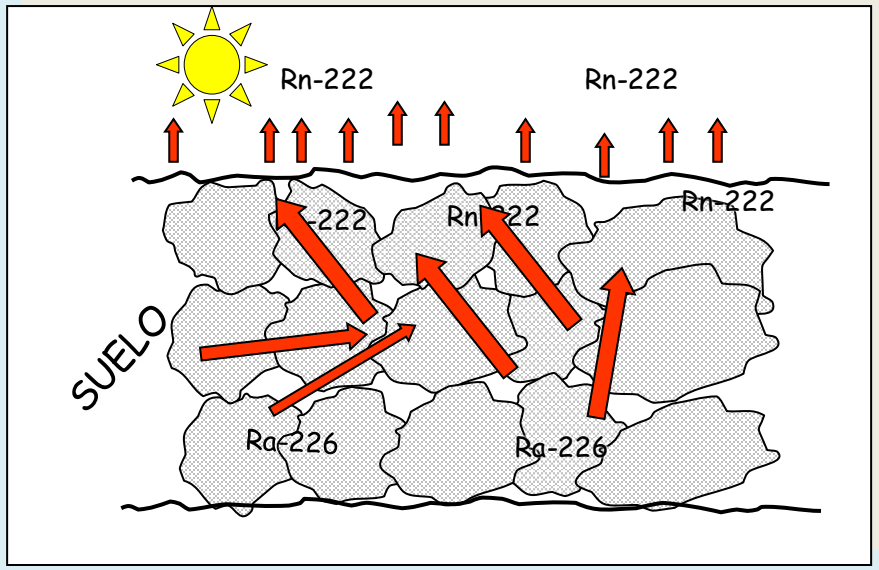
El tipo de suelo es el factor más importante, sobre todo si la roca madre sobre la que se asienta es rica en uranio y radio

Mecanismo del radón en el medio ambiente

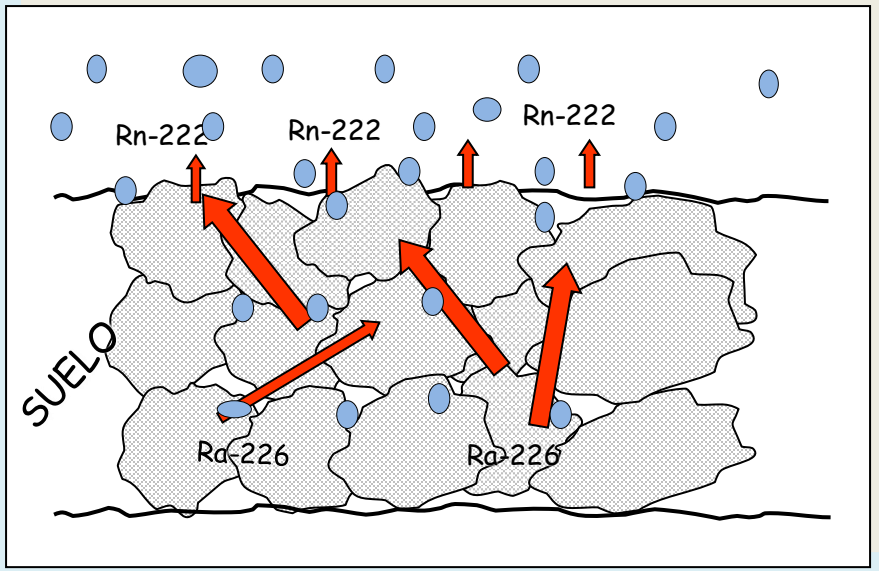
Exhalación

Fracción de Rn-222 que escapa del suelo hacia el exterior de forma natural por la existencia de grietas, fisuras o materiales muy porosos, estas se forman por el decaimiento del Ra-226

A) Clima seco el Rn sale con libertad exterior por las grietas

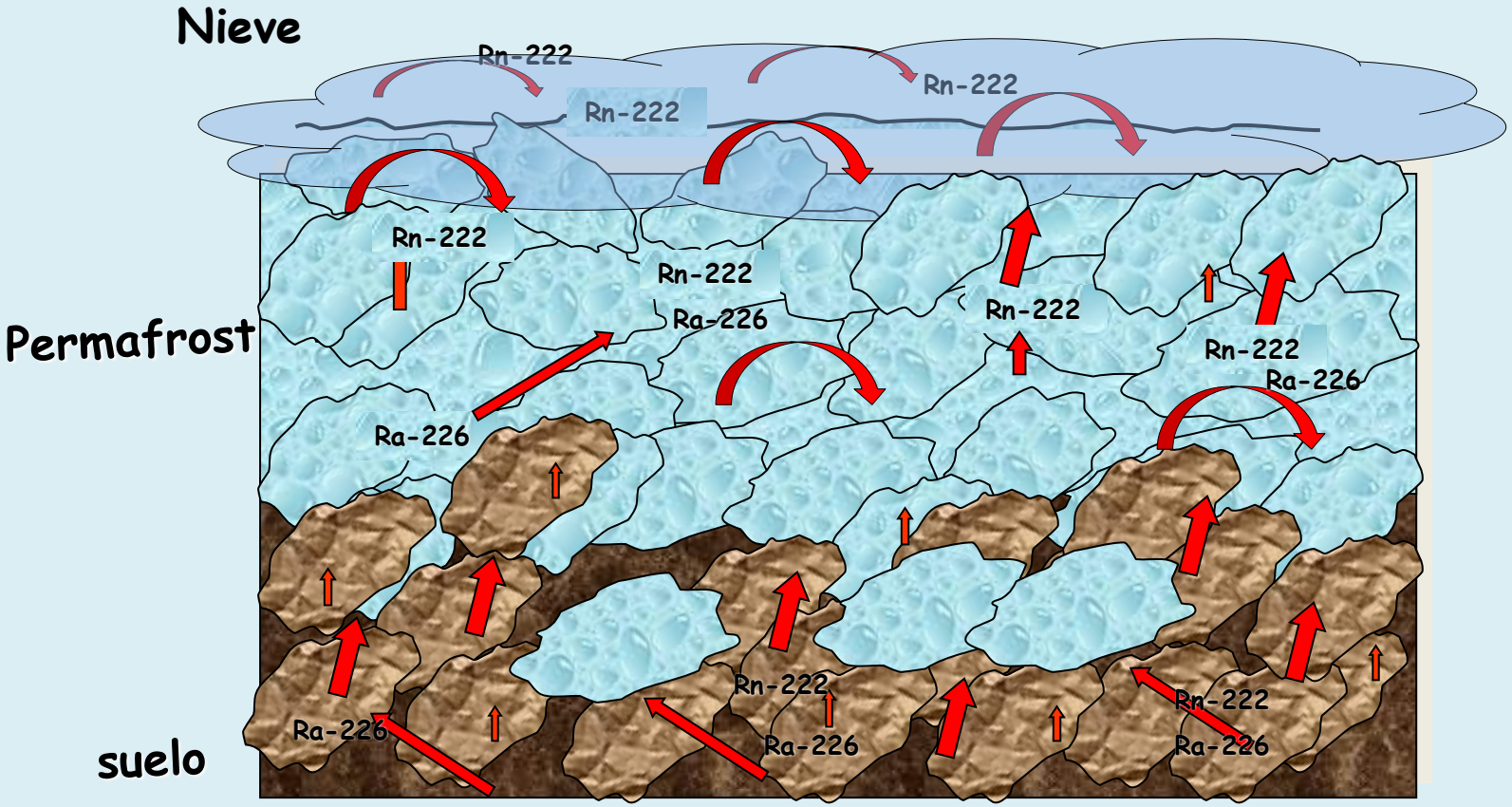


B) Clima con lluvia disminuye la cantidad de Rn al Al exterior parte del radón es retenido con la lluvia



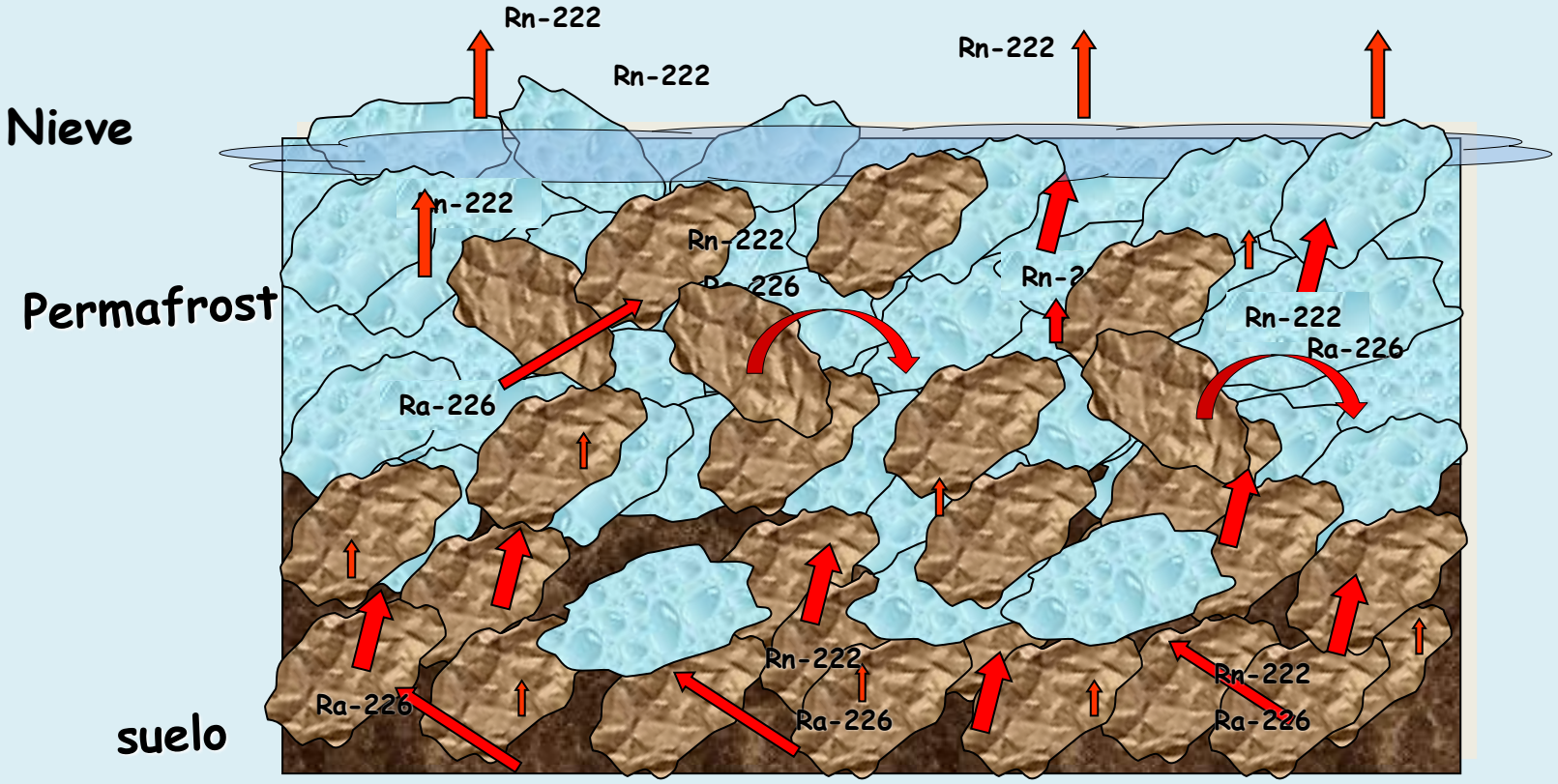
Mecanismo del radón en el suelo

C) Clima con nieve: Disminuye la cantidad de Rn que sale al exterior, esta es retenida por la nieve o hielo que se encuentra en el interior del suelo y en la superficie.



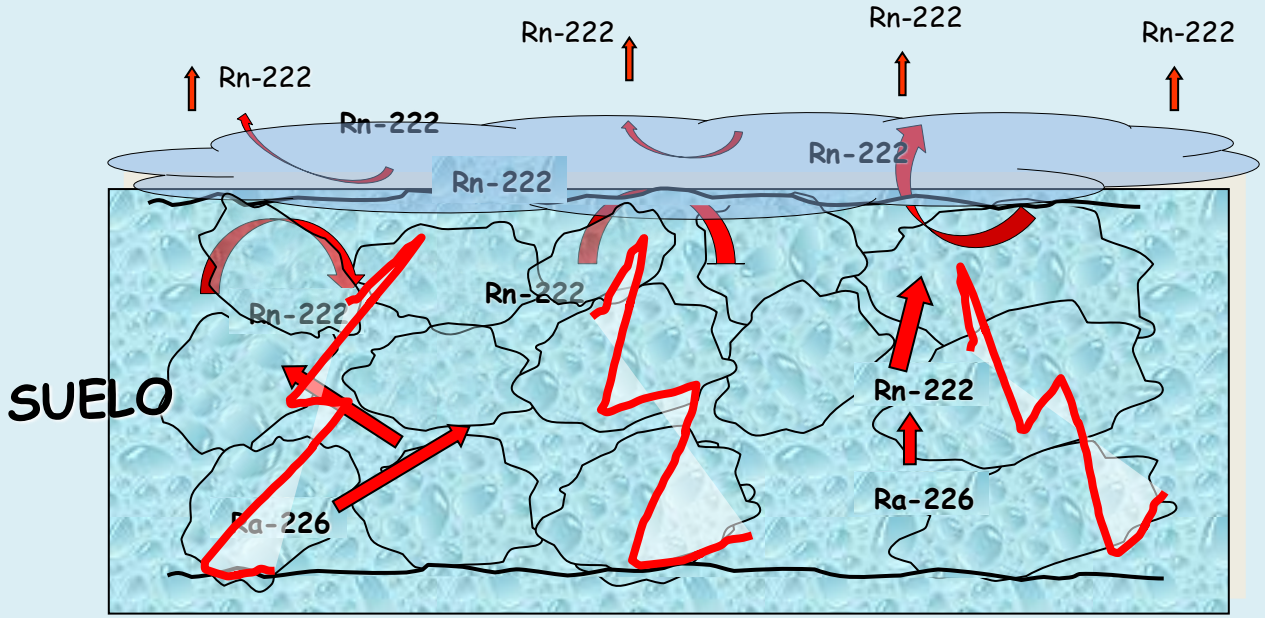
Mecanismo del radón en el suelo

D) Clima con nieve y Permafrost derritiéndose : la cantidad de Rn que sale al exterior empieza aumentar, dependerá del suelo y del contenido de uranio y radio para que la cantidad de radón que sale al exterior tenga valores mas apreciables.



Mecanismo del radón en el suelo

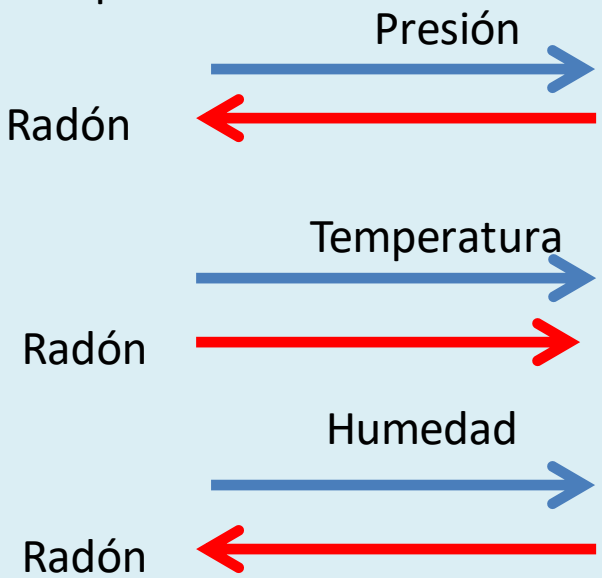
C) Anomalía por movimiento en la nieve o agrietamiento: Si existe movimiento en el cual se empieza a rajar el hielo o la nieve derretirse la cantidad de Rn que sale al exterior empezara a aumentar, esta dependerá que tan grandes son las grietas o derretimiento de la nieve que se encuentra en el interior del suelo y en la superficie.

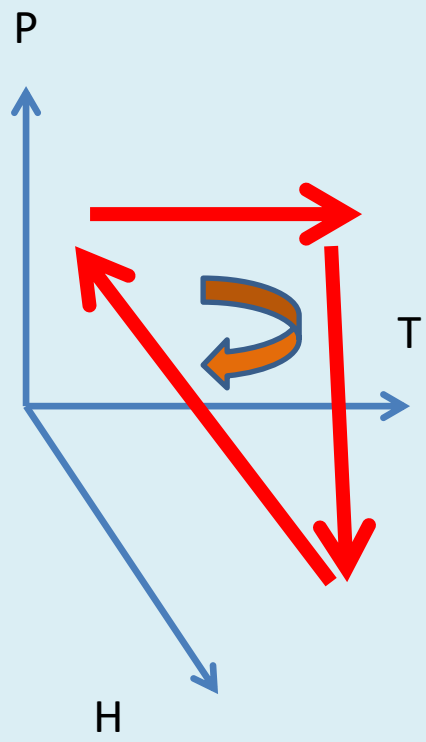


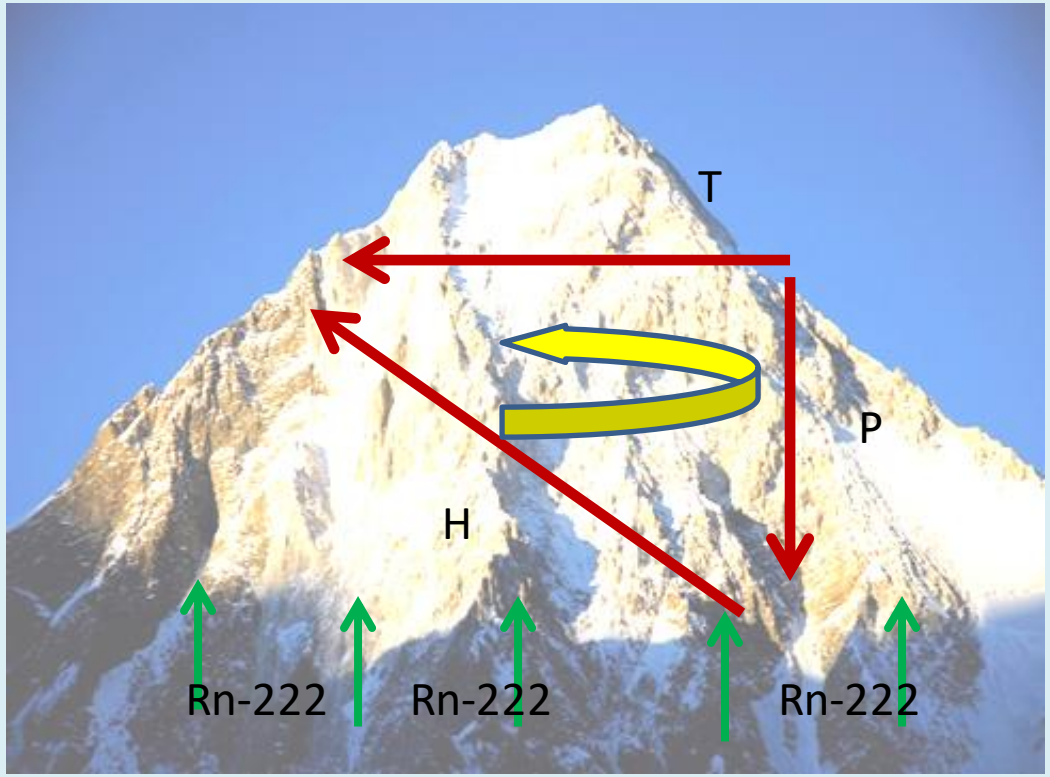
Mecanismo del radón en el medio ambiente

Factores del Clima que influyen en el estudio del radón para efectos climáticos

El radón mayormente depende de tres factores: la presión atmosférica, la temperatura y, especialmente, la humedad atmosférica. Cuando se encuentra en equilibrio







Muestreo de radón en el medio ambiente

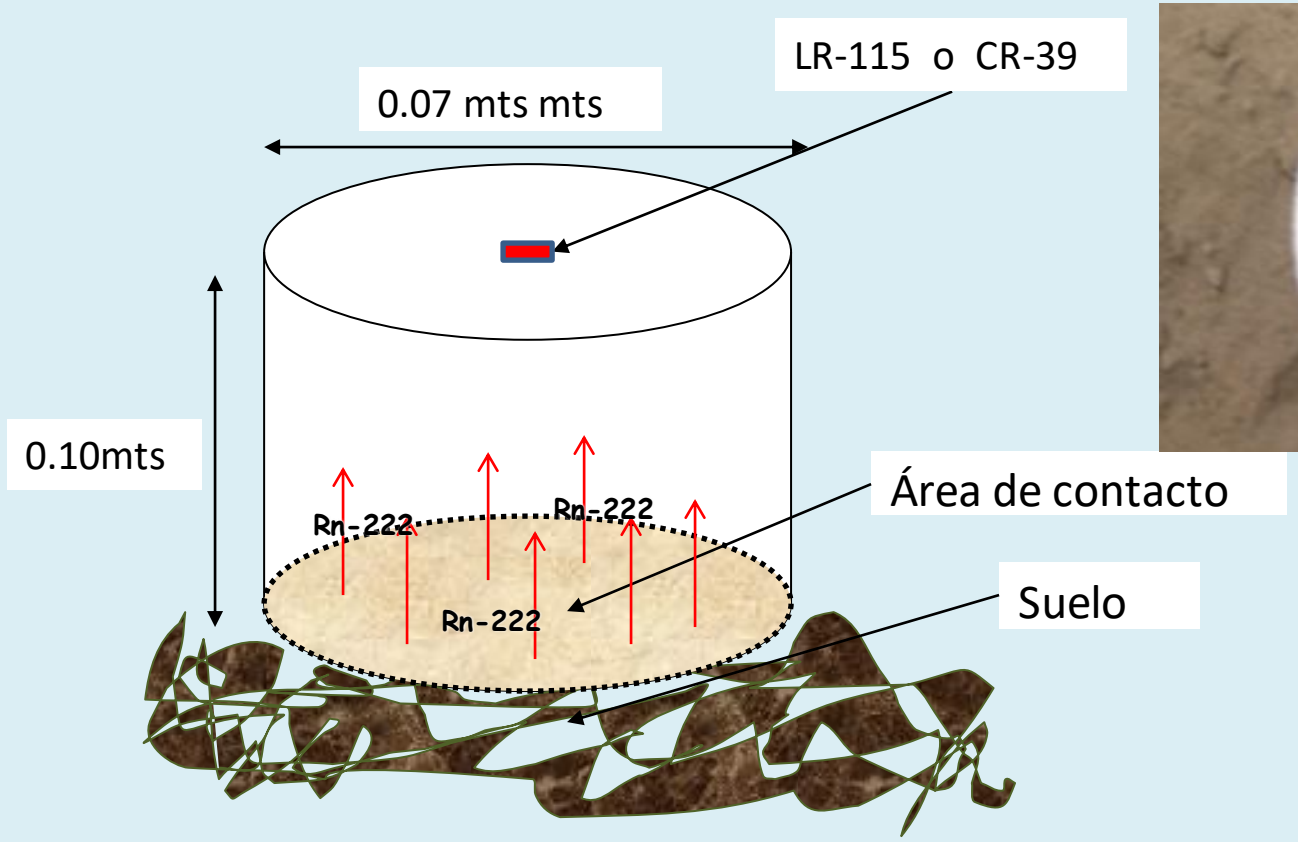
Consideraciones a Tomar en cuenta para encontrar la exhalación de radón en el suelo

1 - Concentración de radón determinado por los dispositivos LR-115 o CR-39 expresado en (Bq/m^3)
2 - Tiempo de exposición (h)
3 - Área de contacto libre (suelo recipiente) en m^2
4 - Constante de decaimiento del radón ($0{,}181286208\ días^{-1}$)
5 - Volumen del recipiente de muestreo
6- Ubicación de sitio de muestreo



Muestreo de radón en el medio ambiente

Consideraciones a Tomar en cuenta para encontrar la exhalación de radón en el suelo







Medición de la exhalación de radón en suelo

Medición de radón en suelo seco con monitores continuos







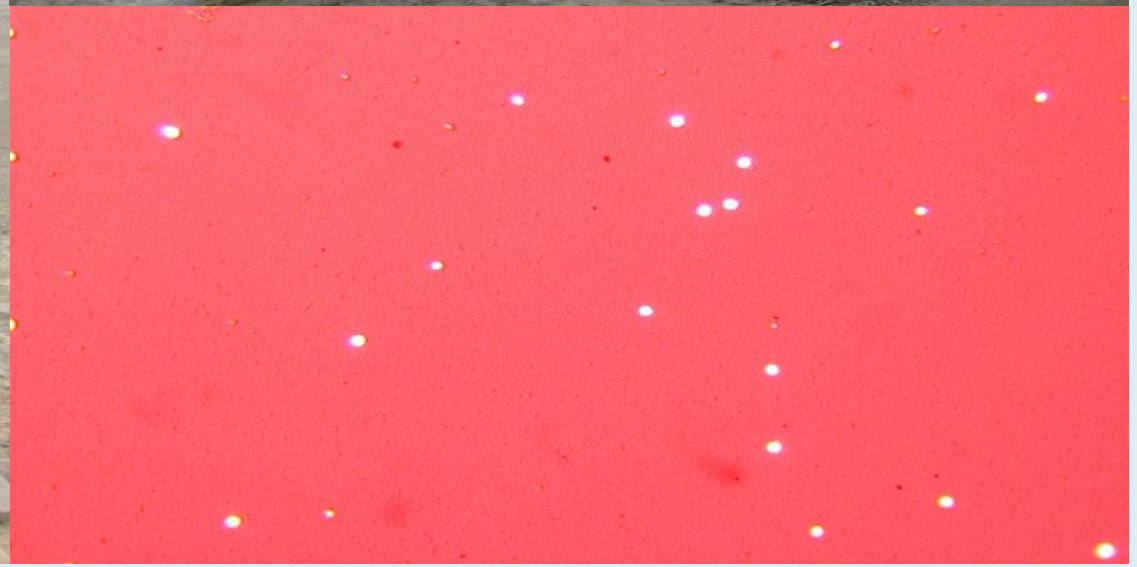
Medición de la exhalación de radón en suelo

Medición de radón en suelo desérticos de la costa de Lima con dispositivos pasivos (técnica de huellas nucleares Películas LR-115)









Determinación de Radón en muestras ambientales

Muestreo de agua para la determinación de radón

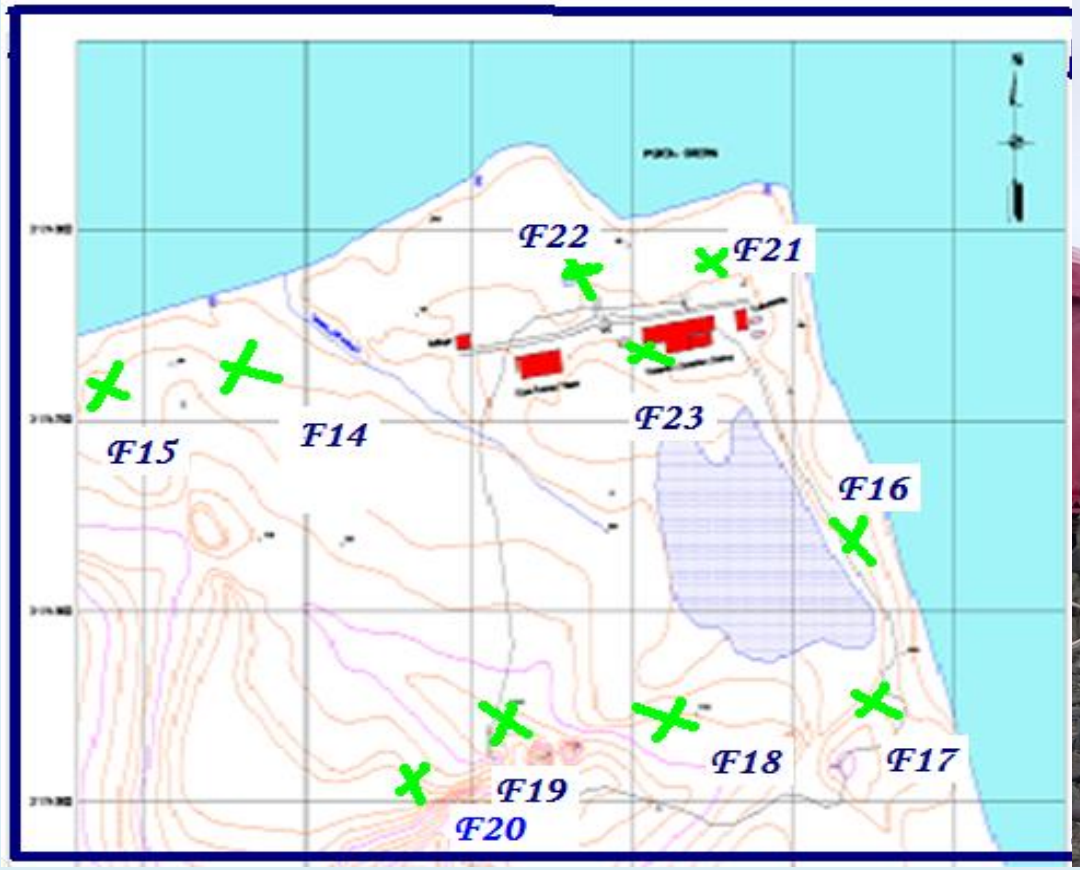


Muestreo de suelo Antártico y la exhalación de radón en el suelo



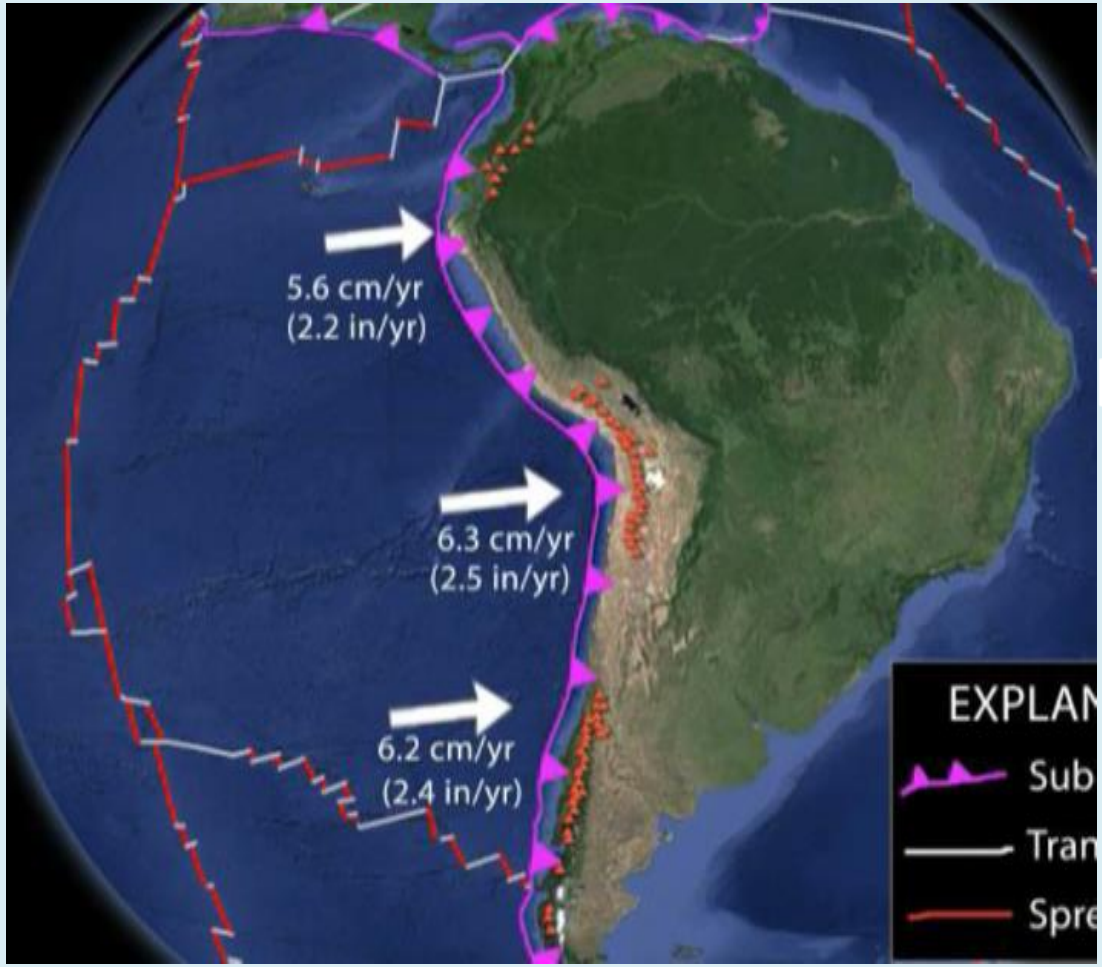
Medición de la exhalación de radón en suelo

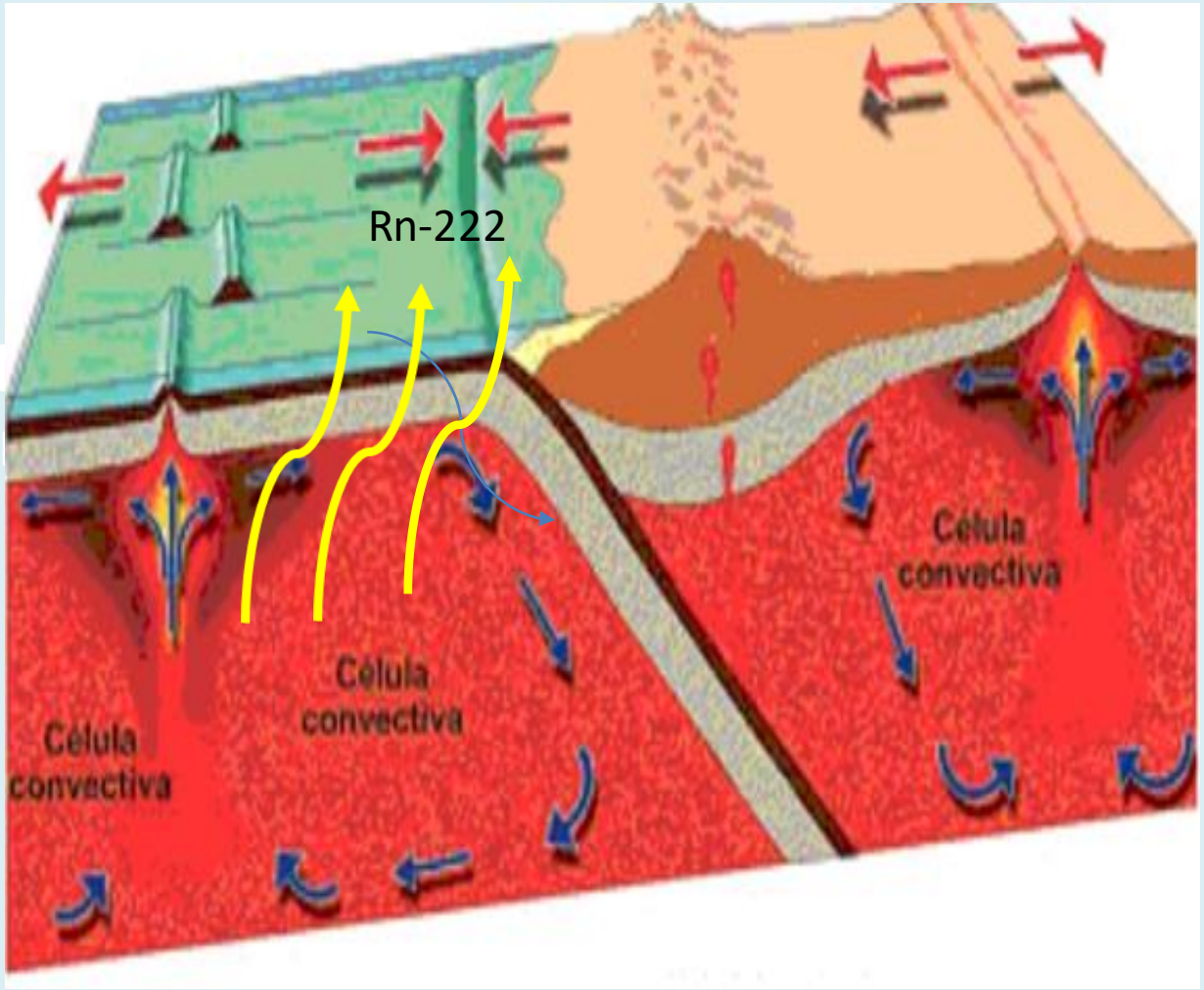
Ubicación de los LR-115 en la Estación Científica Antártica Machu Picchu





Aplicación de la movilidad o ruptura debido a las anomalías del radón en el suelo

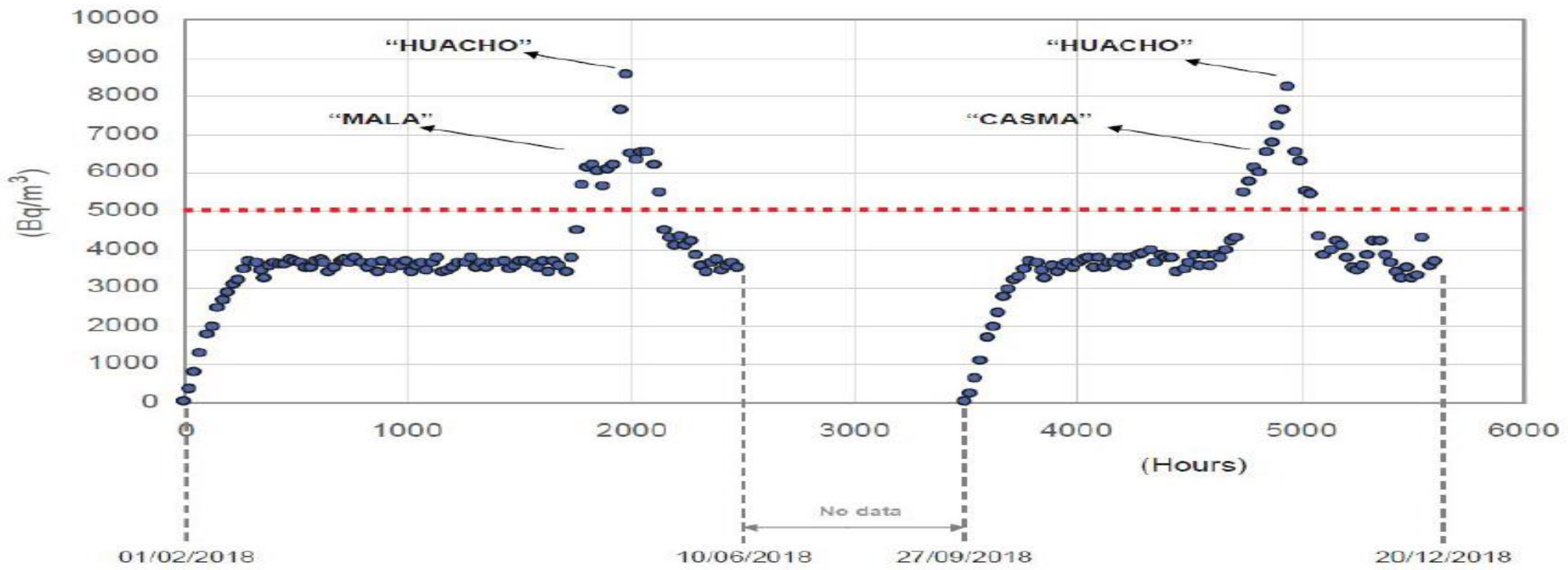




Aplicación de la movilidad o ruptura debido a las anomalías del radón en el suelo

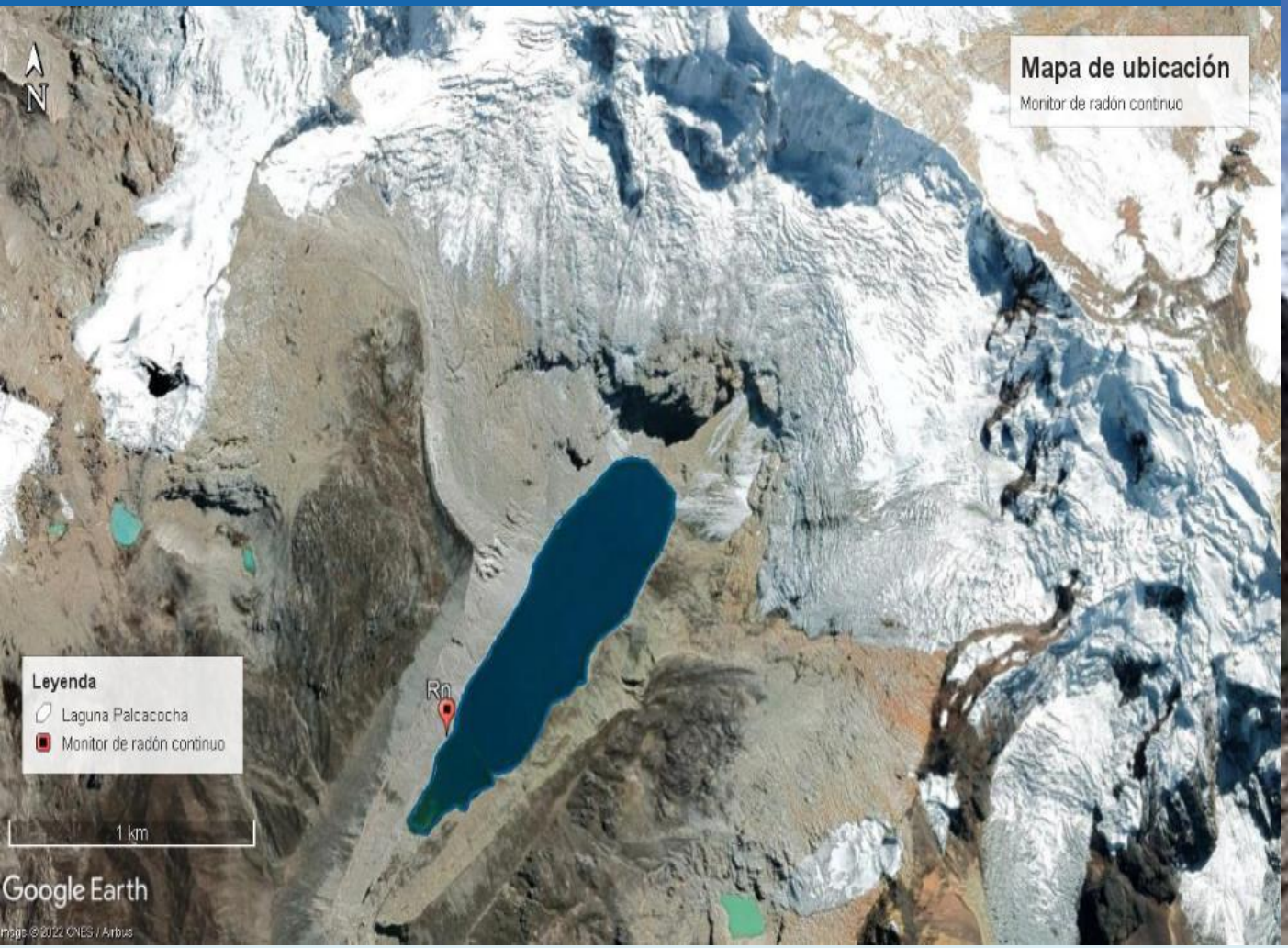
Seismicity Analysis Using Radon Anomalies in the Exhalation Rate at Huarangal 2018: First Results

Jorge Martínez[1], Elfer Arenas[2], Rusbell Zevallos[2], Alicia Fernandez[3], Enrique Fernandez[3], Luis Quindos[3]*



- Journal of Radiation and Nuclear ApplicationsJ. Rad. Nucl. Appl. 6, No. 2, 115-118 (2021)

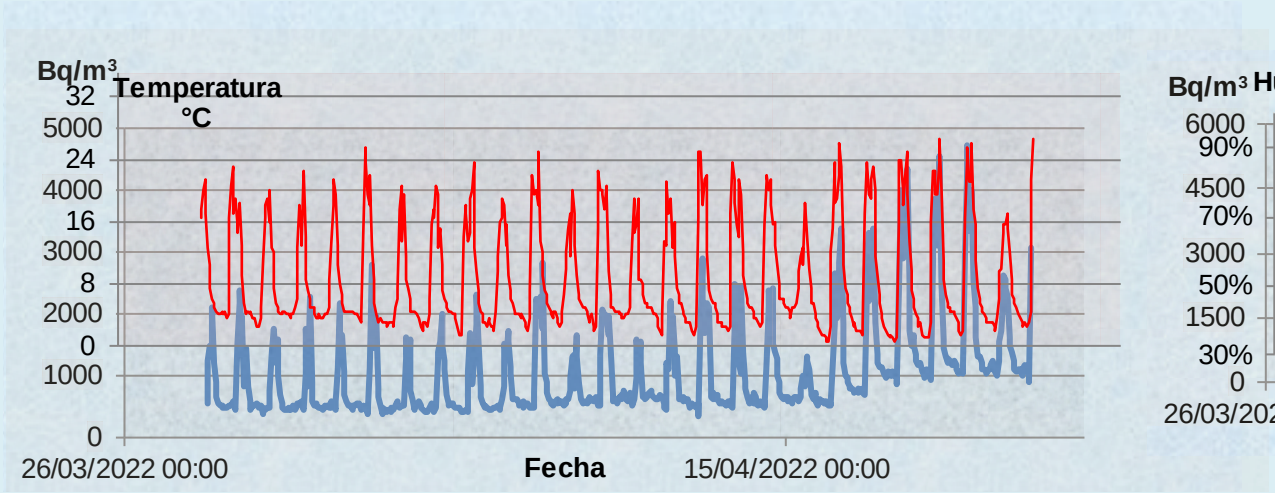
Monitoreo de Radón en la Laguna de Palpacocha Ancash

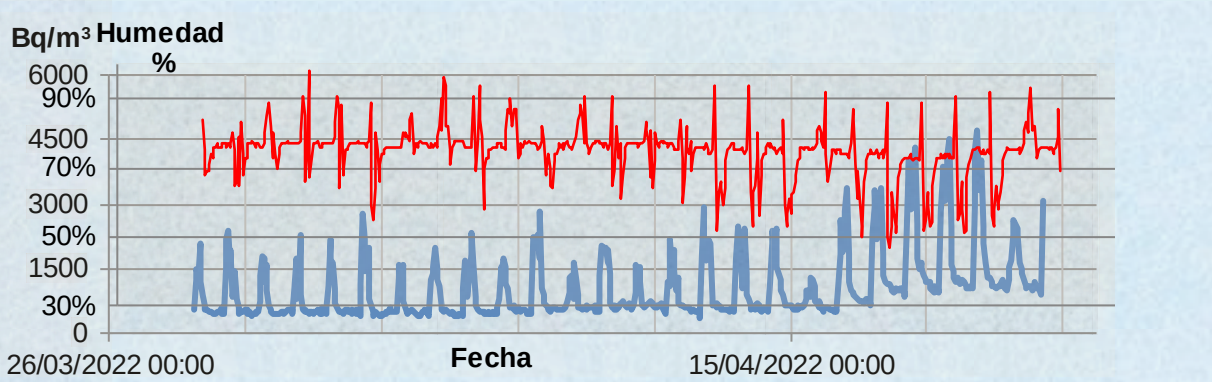




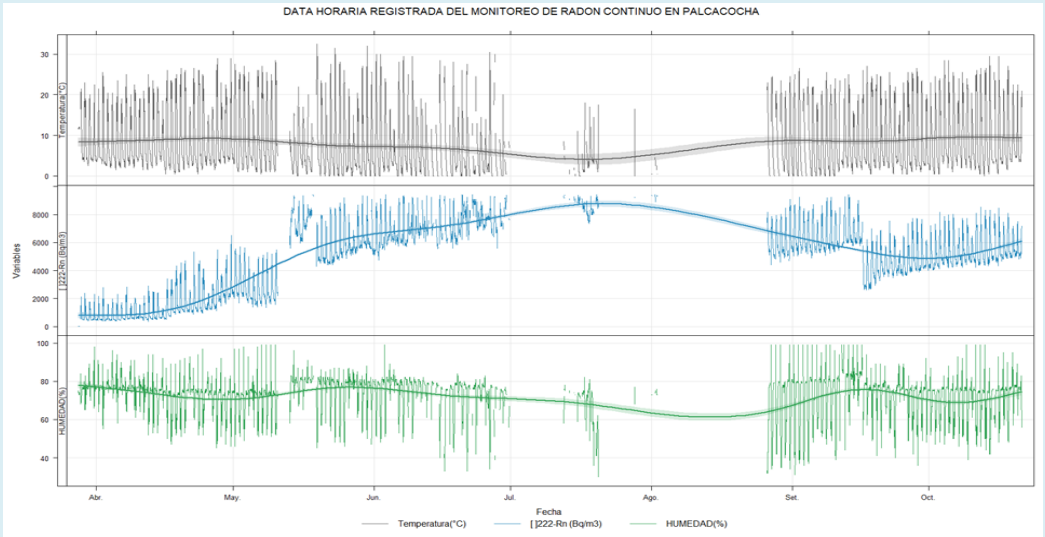
- **Instituto Nacional de Investigaciones en Glaciares y ecosistemas de Montaña (INAIGEM)**

Monitoreo de Radón en la Laguna de Palpacocha Ancash









- Instituto Nacional de Investigaciones en Glaciares y ecosistemas de Montaña (INAIGEM)
- Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

Monitoreo de Radón en el Nevado de Huaytapallana Huancayo Junín

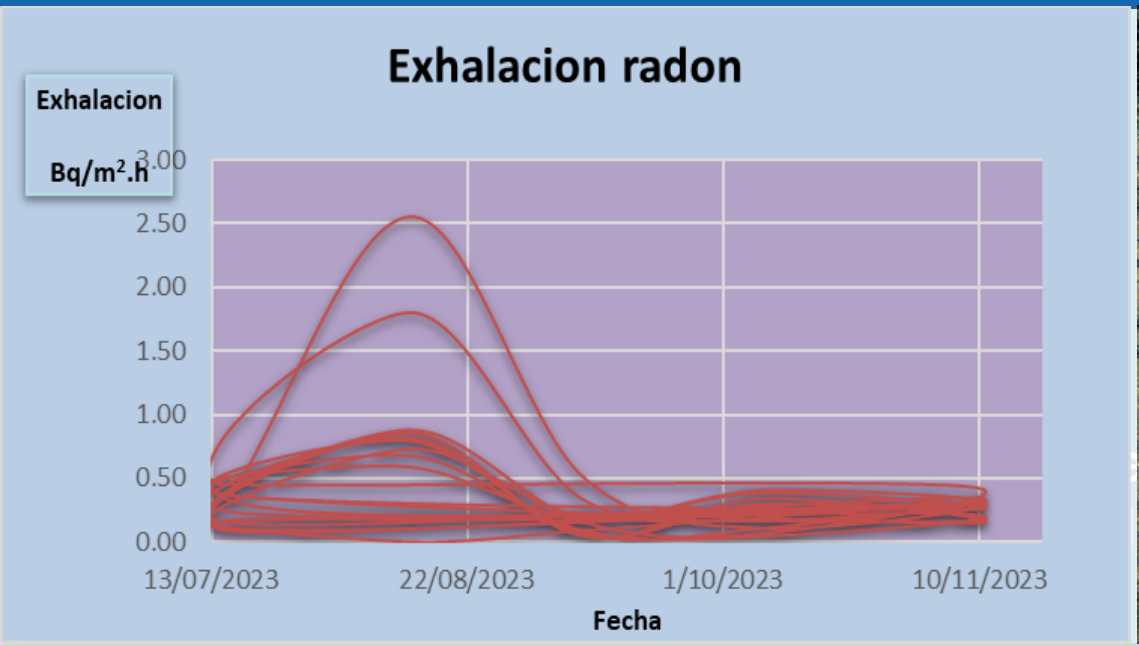




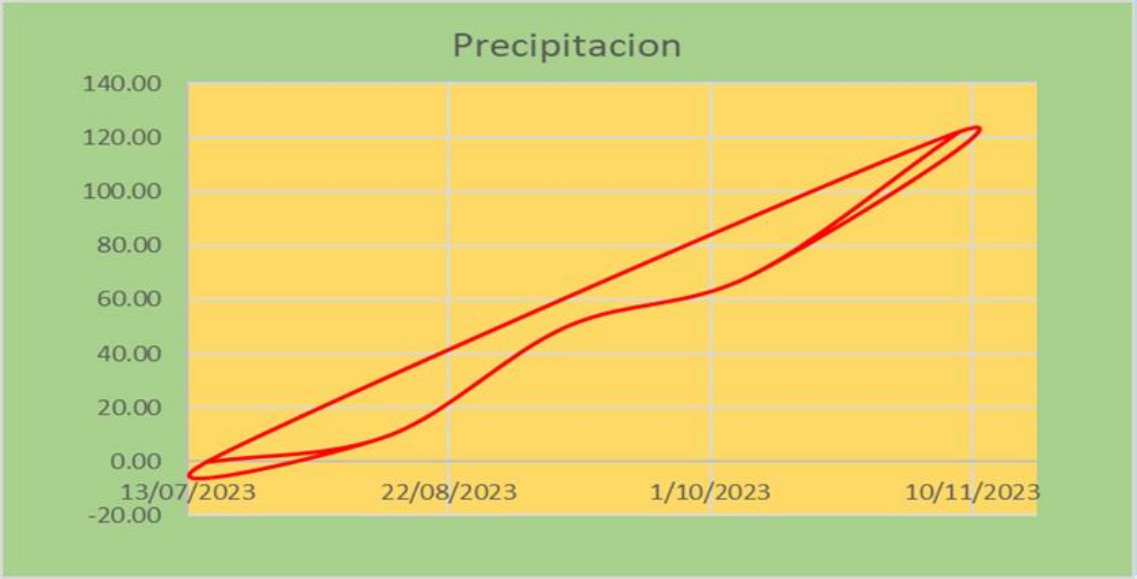


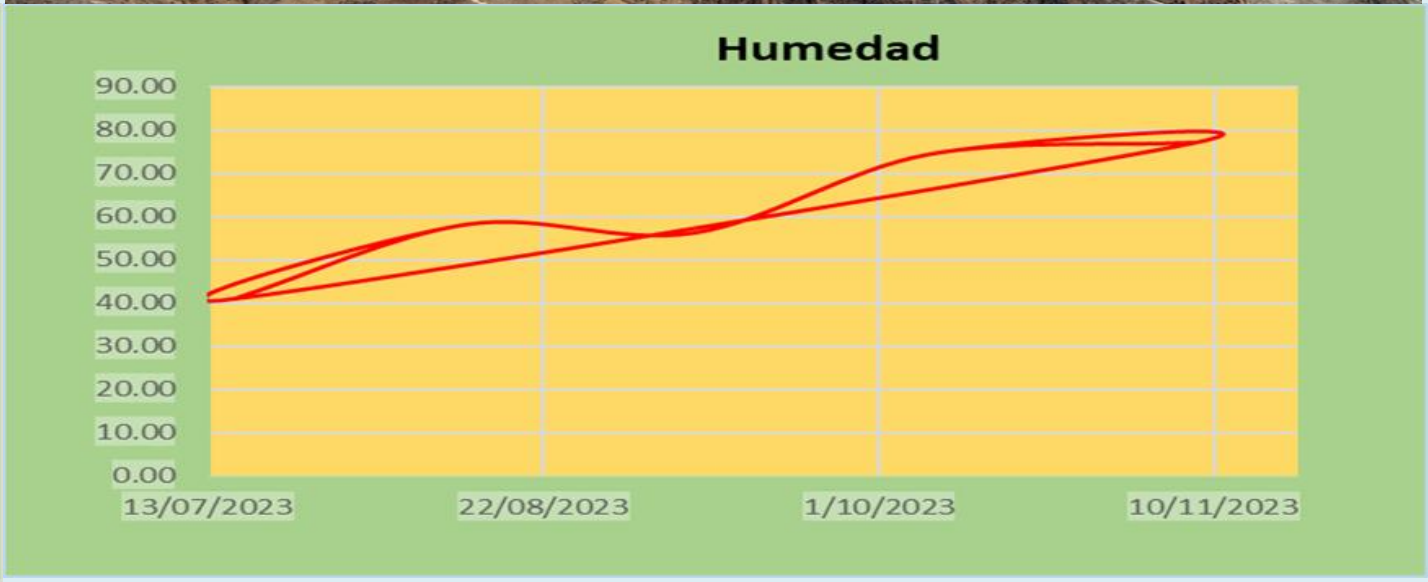


Monitoreo de Radón en el Nevado de Huaytapallana Huancayo Junín

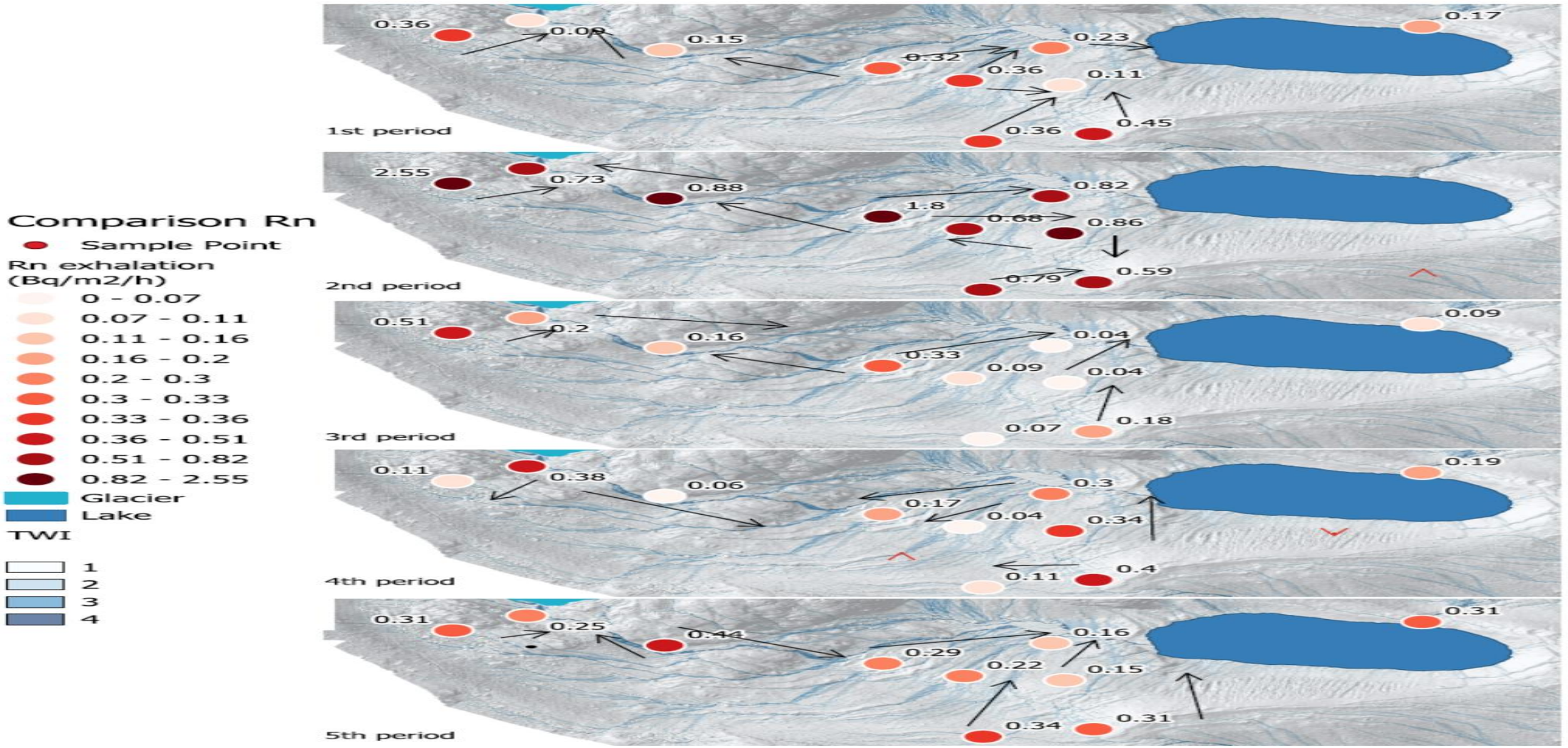








Movilidad del Radon del nevado huaytapallana Huancayo Junin



Detección de cambios ambientales de entornos glaciares mediante medidas del flujo del gas Radón radiactivo ”

Conclusión general:

1. Se observa que las mayores concentraciones de radón en la laguna de Palpacocha ocurren al medio día y van disminuyendo hasta el anochecer.
2. Con respecto a la humedad, la concentración de radón es mayor cuando la humedad disminuye, y los ratios de la concentración de radón respecto a la humedad tanto por hora como el promedio diario registran un aumento conforme pasa el tiempo tanto en Palpacocha como en Huaytapallana .
3. La concentración de radón aumenta conforme al incremento de la temperatura diaria en Palpacocha.
4. Se concluye que el comportamiento del radón se ve afectado por los periodos de lluvia, ya que mientras disminuye la precipitación mensual, la concentración de radón se incrementan durante el periodo de muestreo.

Uso del Plomo-210 Polonio-210 para el estudio de datación y cambio climático

Resumen

El cambio climático y ambiental en grandes escalas es estudiado a través de residuos de elementos y otros vestigios que estos cambios dejan en sedimentos de diferentes ambientes. Estos ambientes pueden ser desde el hielo (en alguno de los polos), lagos, océanos o ríos. Los sedimentos son depositados en forma ordenada, los sedimentos más antiguos en el fondo, pero esto no es suficiente y es necesario tener una forma de datar estos cambios. Para esto es necesario construir modelos de datación, también llamados modelos de edad-profundidad. Para construir estos modelos el uso de isotopos radioactivos es de gran popularidad, el más conocido de estos el carbono-14 (14C) pero no es el único. El plomo-210 (210Pb) es un isotopo radioactivo cuya vida media es 22.4 años. Este isotopo ha sido usado desde los 70's para fechar cambios climáticos y ambientales, ya que su vida media abarca de manera natural él antes y después de la revolución industrial.

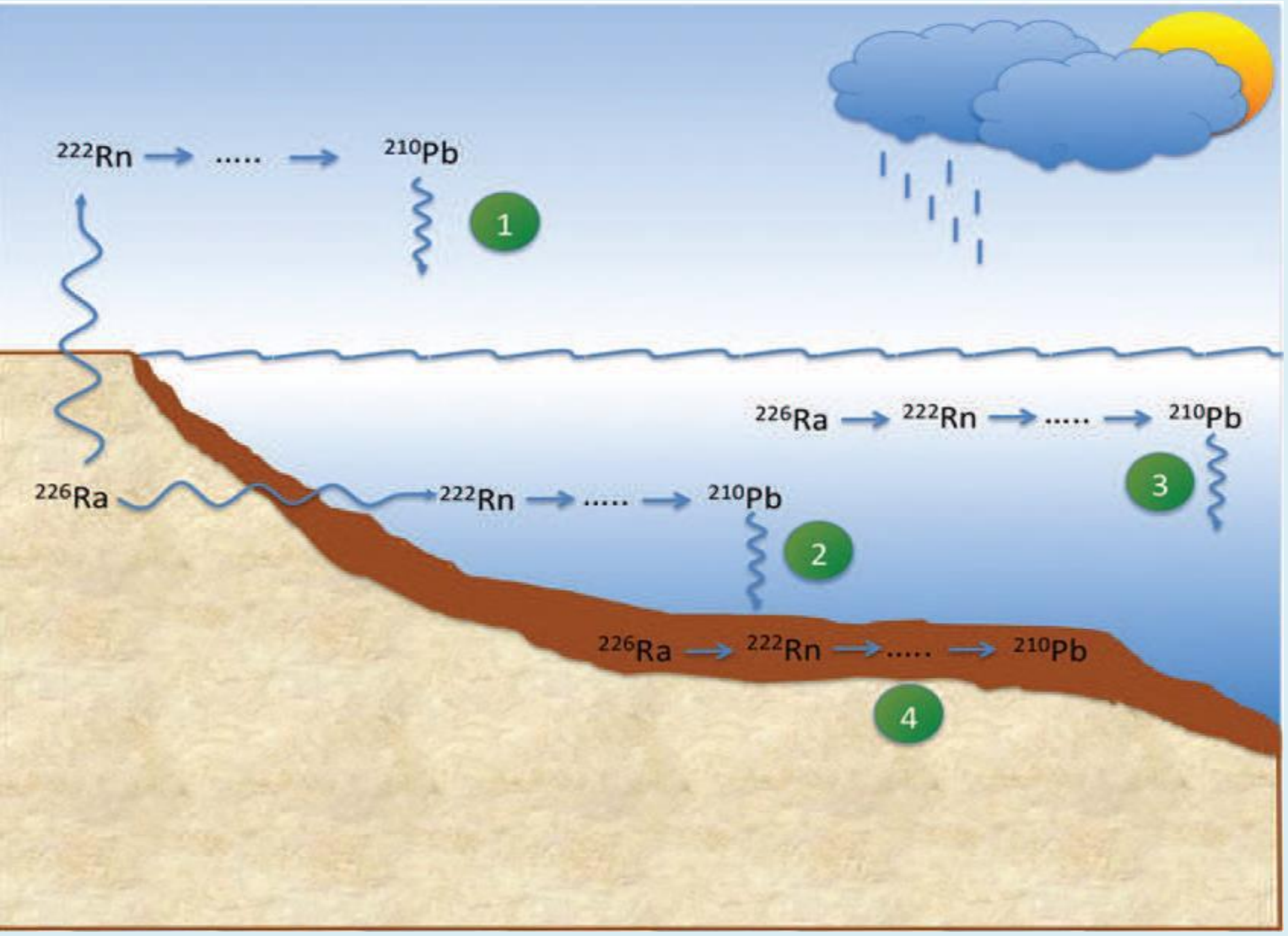
de un modelo estadístico (bayesiano) que utiliza tanto de la estructura del crecimiento sedimentario, como de la naturaleza de los isotopos radioactivos. Este modelo utiliza datos de plomo-210 y permite el fechado de cambios climáticos y ambientales. La construcción de un modelo estadístico para la estimación de estas edades no solo ha mostrado una mejora en la precisión de las edades estimadas, pero también nos ha permitido la construcción de nuevas herramientas para el estudio del cambio ambiental.

Propiedades físico químicas de Polonio-Plomo

Propiedades	Po	Pb
Masa atómica Molar	209.9824	207.2
Punto de fusión K°, (C°)	527 (254)	600.61 (327)
Punto de ebullición K°, (C°)	1235 (962)	2022 (1749)
$\Delta H°_{Fus}$ (KJ/mol)	60.1	4.799
$\Delta H°_{Vap}$ (KJ/mol)	102.91	177.7
Presion de vapor (Pa)	0.0176	$4.21x10^{-7}$
Densidad (kg/m^3)	9196	11340

Isotopos	Po-208	Po-209	Po-210	Pb-210
Periodo de semi vida	2.898 años	103 años	138.376 días	22.20 años
Desintegración	$\alpha, \epsilon, \beta^+$	$\alpha, \epsilon, \beta^+$	α	B^-
Energía (MEV)	5.215	4.979	5.307	1.278
progenie	Pb-204	Pb-205, Bi-209	Pb-206	Bi-210

Mecanismo de cómo el plomo-Polonio se concentra en los sedimentos marinos



Ciclo del 210Pb en ecosistemas costeros.

1.

El Rn exhala del suelo incorporándose a la atmósfera, donde se desintegra en 210Pb, que se deposita básicamente por vía húmeda.

2.

El Rn exhala del sedimento incorporándose a la columna de agua donde se desintegra en 210Pb, que sedimenta arrastrado por las partículas.

3.

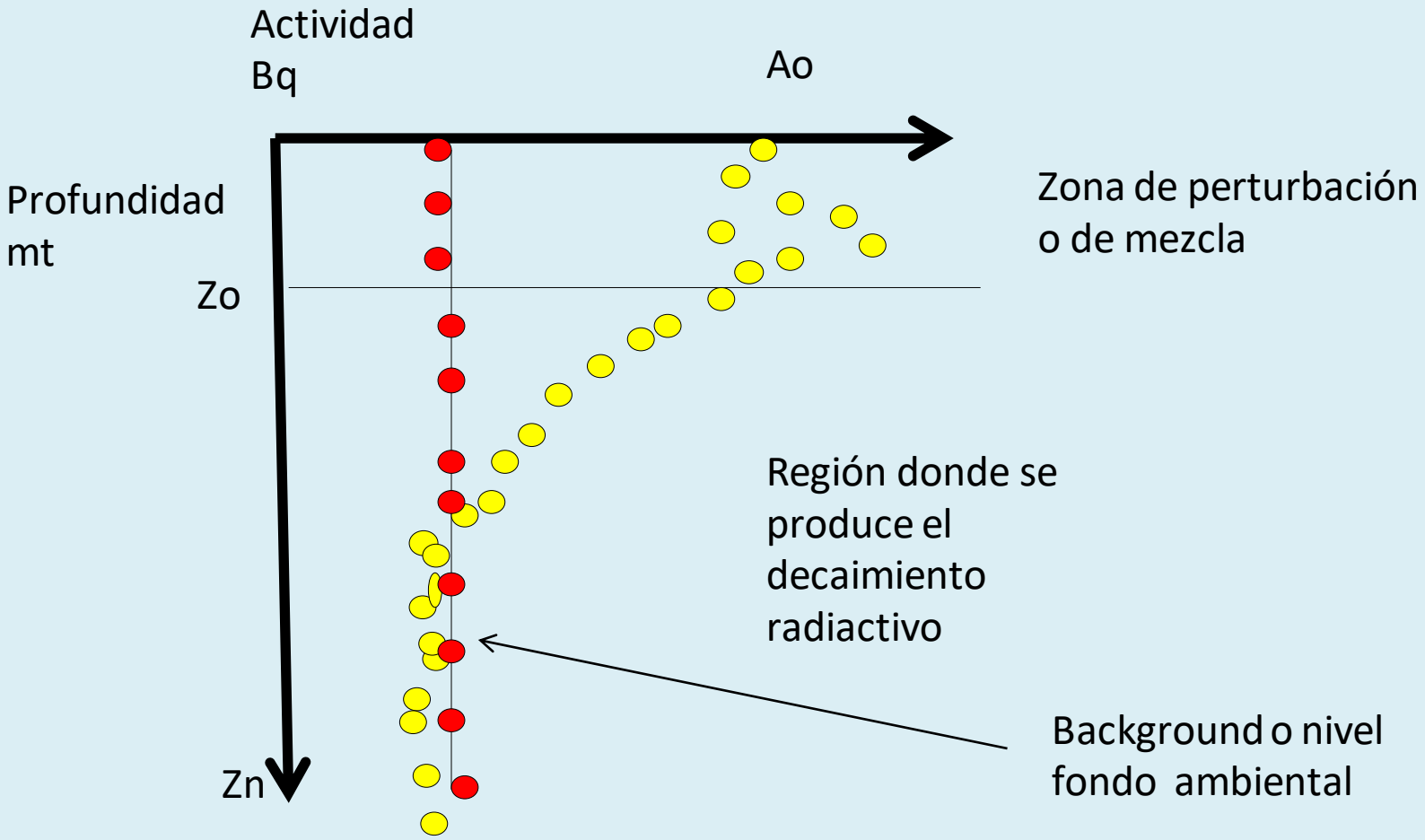
El 226Ra disuelto en la columna de agua se desintegra en Rn y este en 210Pb, que sedimenta arrastrado por las partículas.

4.

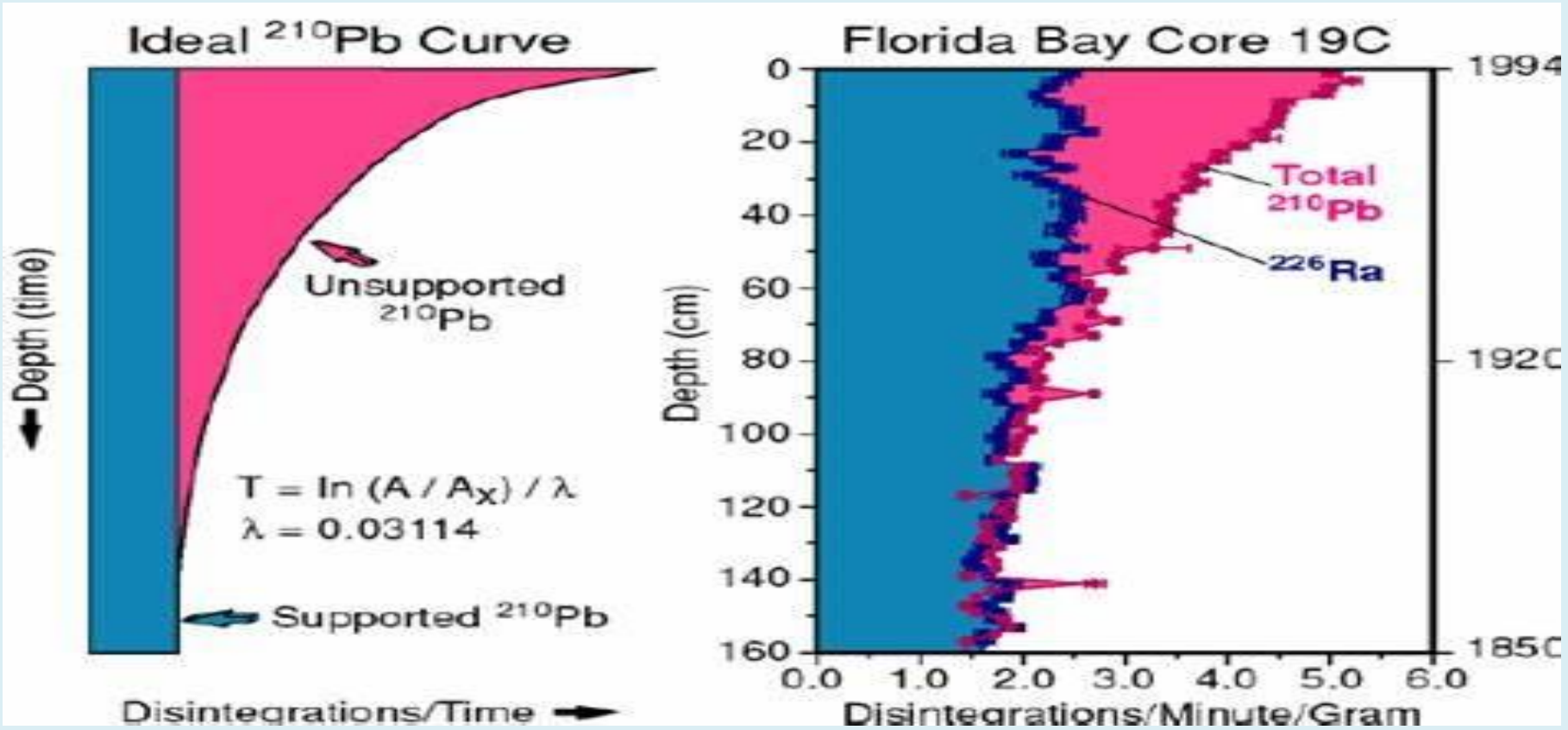
El 226Ra contenido en el sedimento se desintegra en 210Pb (210Pb de base).

Fuente: Jordi García-Orellana (Universitat Autònoma de Barcelona).

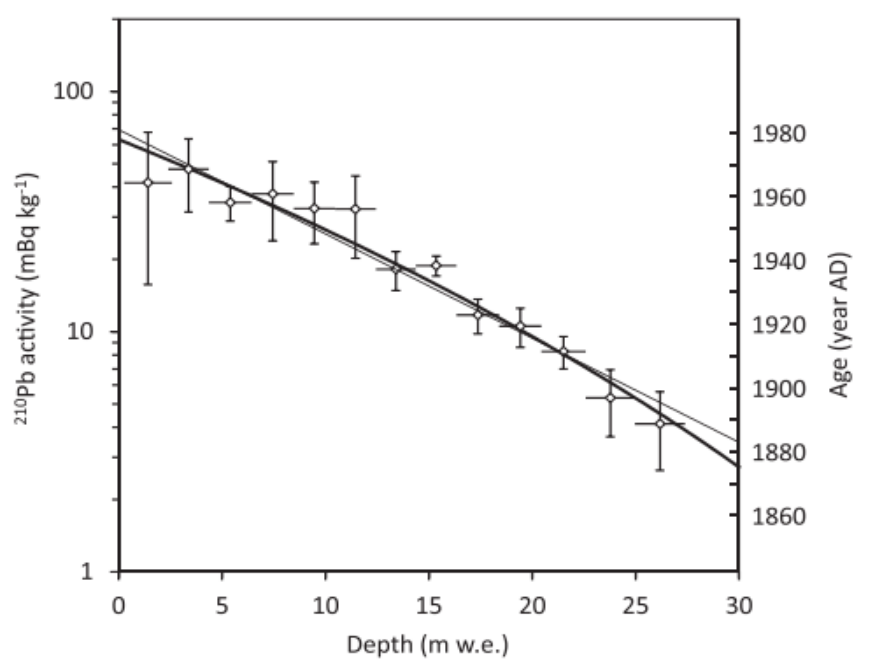
Distribución del Polonio-210 en los sedimentos marinos

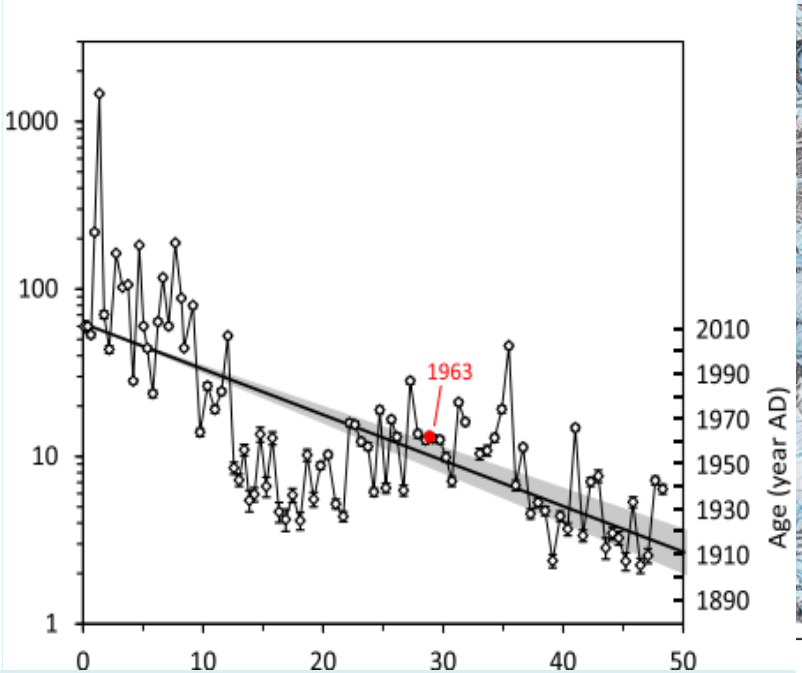


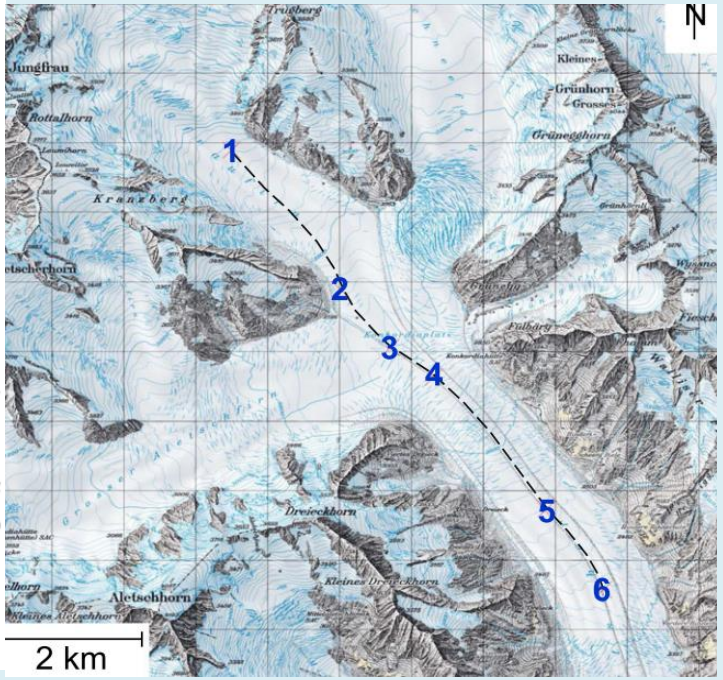
Distribución del Polonio-210 en los sedimentos marinos



Polonio-210 y Plomo-210 en un glaciar

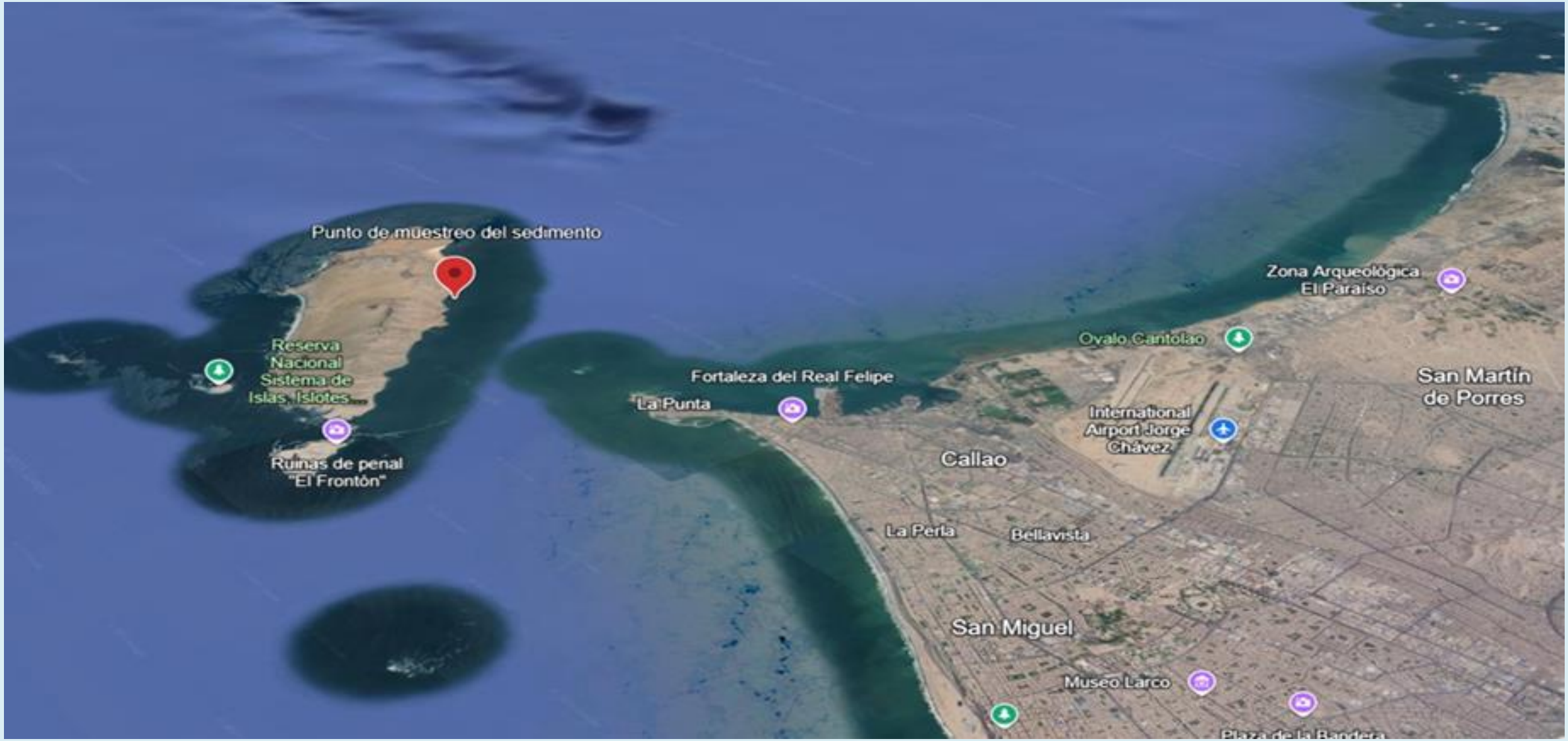






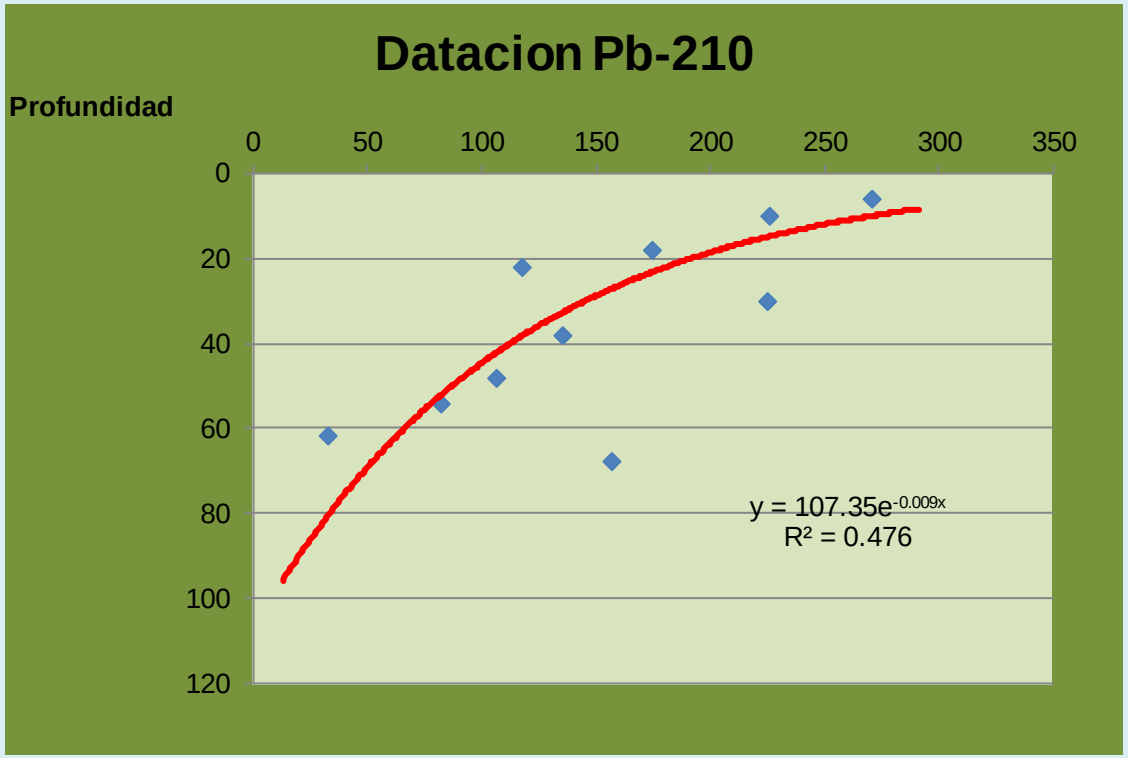
Actividad del Pb-210 en function de la profundidad en el hielo m. w.e. at Colle Gnifetti (adapted from Gäggeler and others, 1983). Silvretta, drilled in 2011.
Pico indica la prueba nuclear de 1963 Pavlova y others (2015)
Muestreo en Jungfraufirn/Aletsch Glacier (Switzerland)
Application of the radionuclide 210Pb in
Glaciology Heinz W. Gäggeler 2020

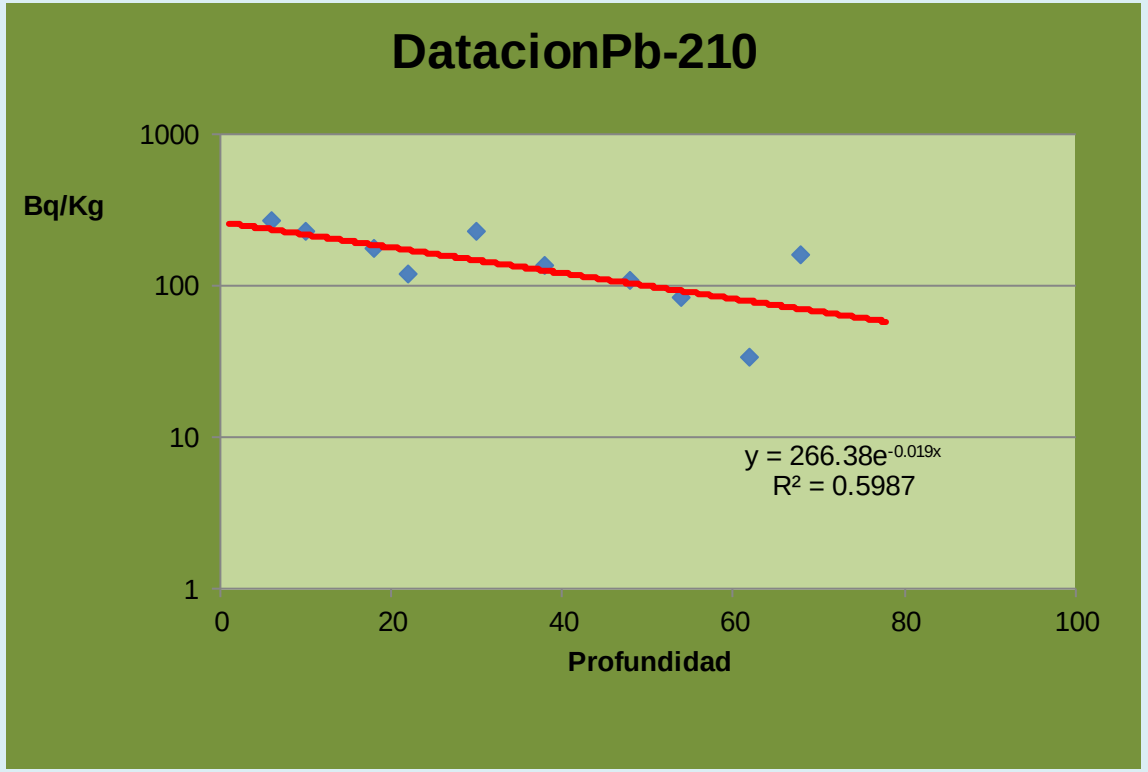
Zona de muestreo del estudio de datación



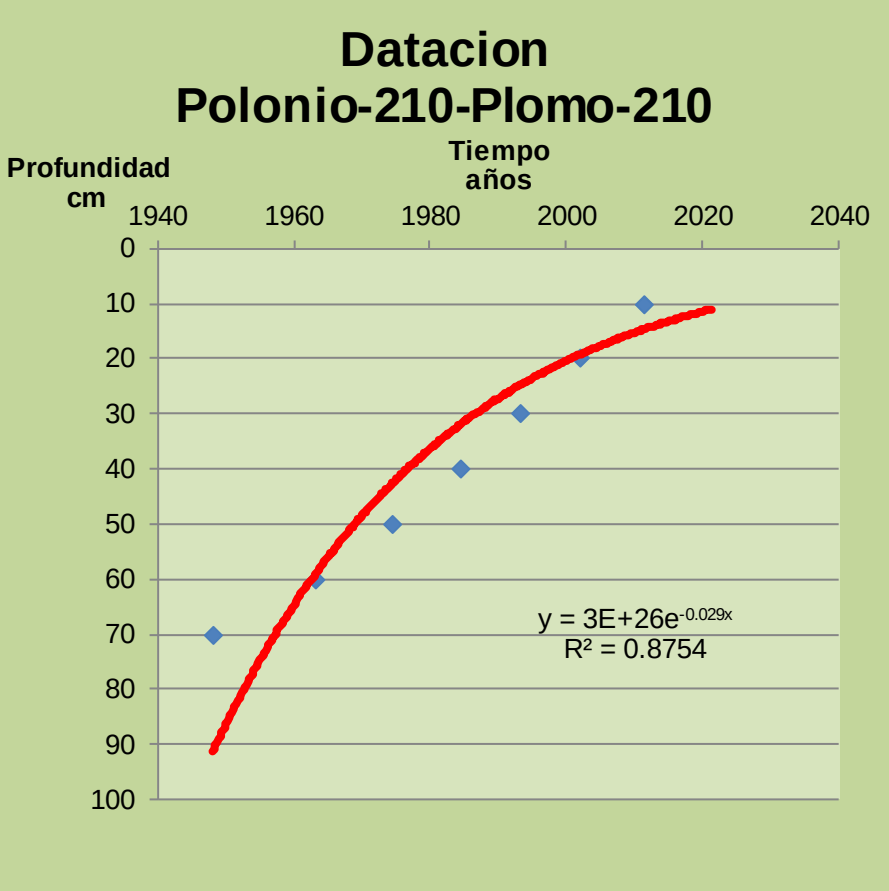
Resultados experimentales del Polonio^{-210} en la bahía del callao

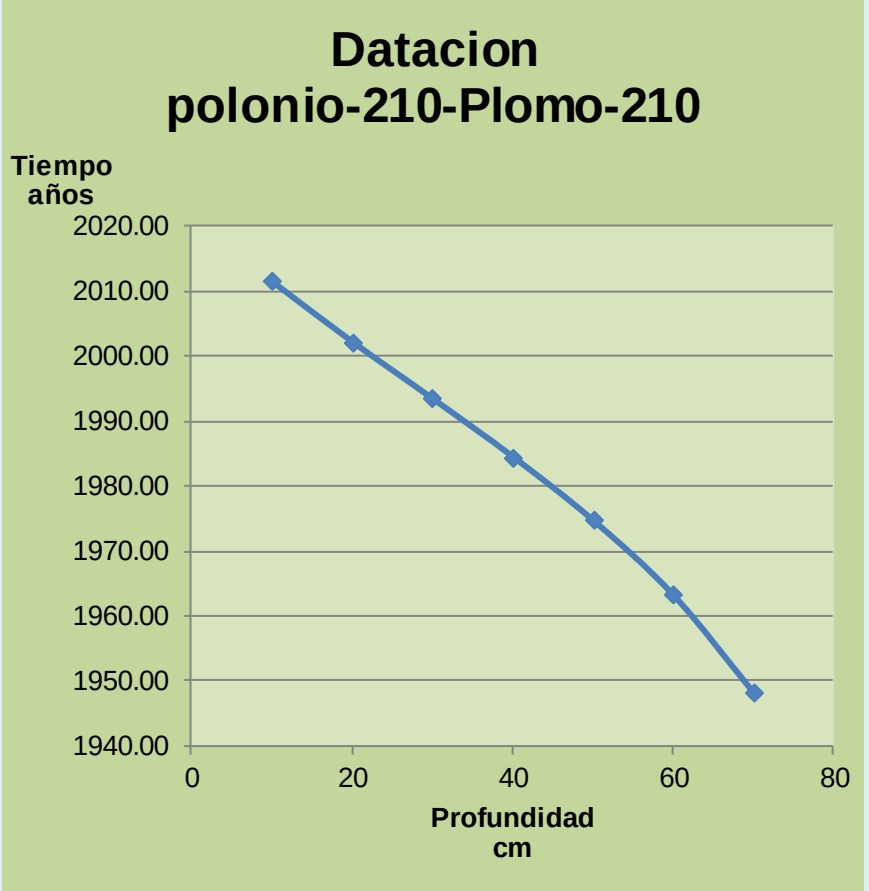
Logro de este estudio - la cronología histórica de la sedimentación en un lecho marino, nos permite analizar la historia de las perturbaciones por efectos climáticos y de contaminación en el litoral, sabiendo las causas pueden tomarse las previsiones para solucionar los problemas de contaminación o de efectos climatológicos.





Resultados experimentales del Polonio-210 en la bahía del callao

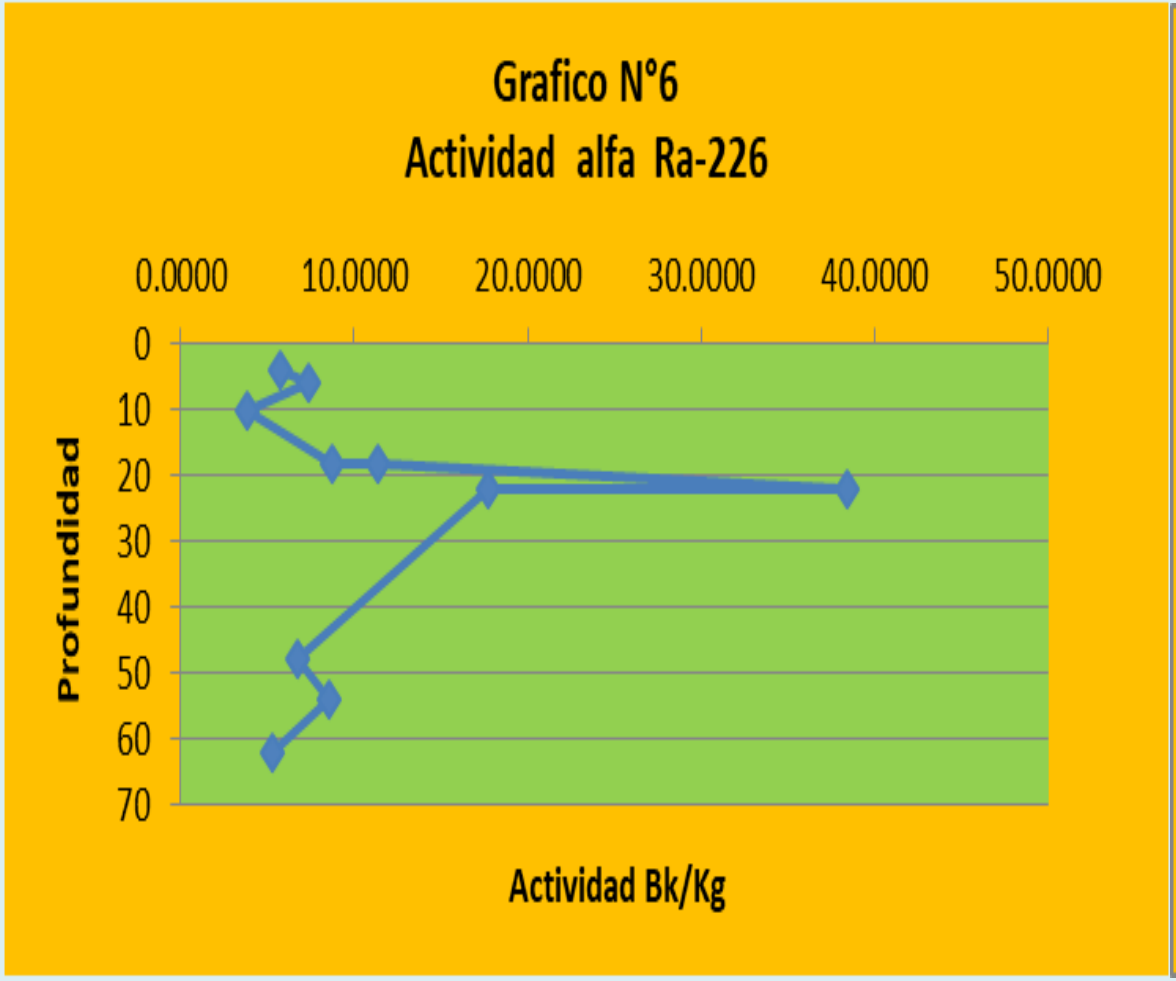


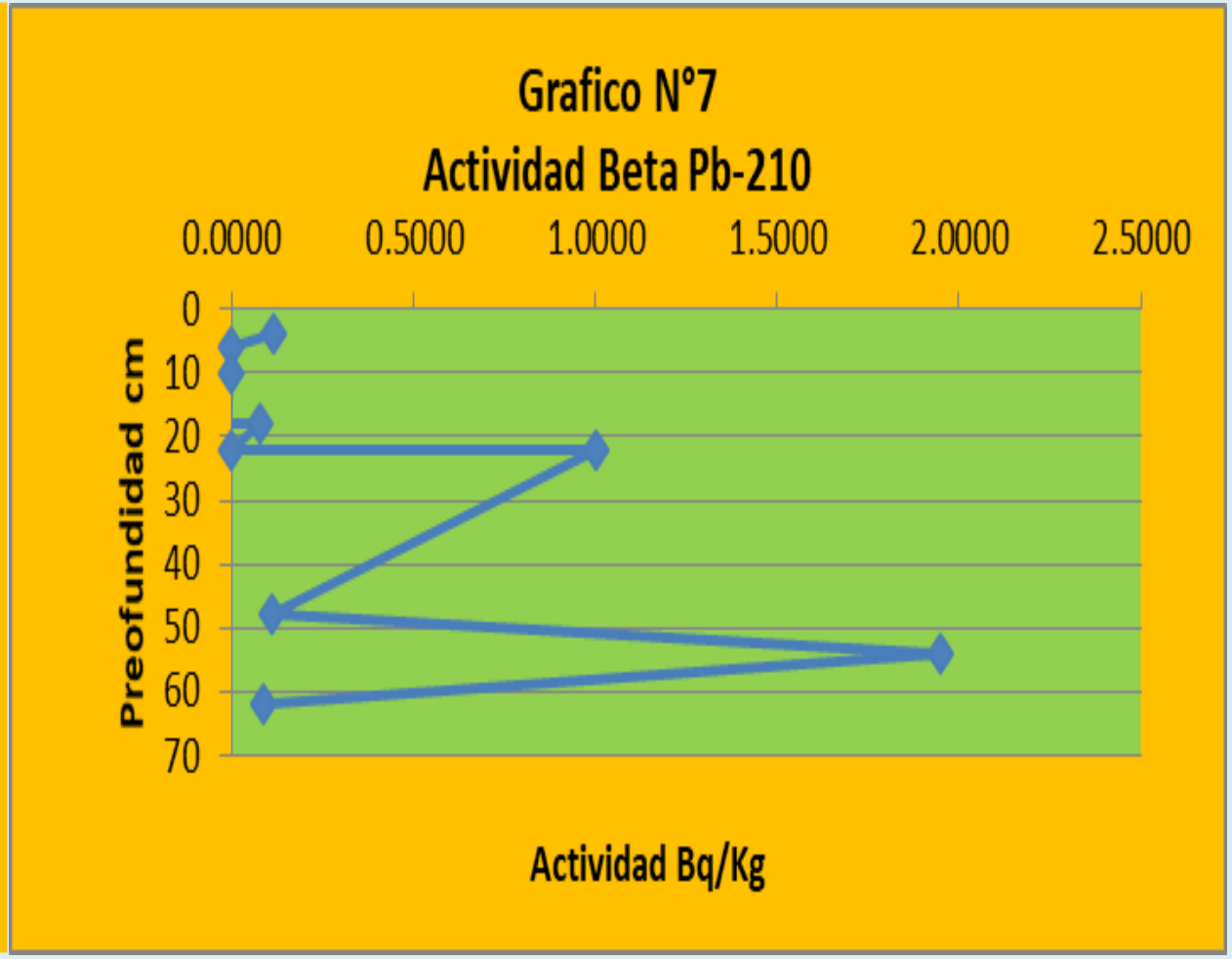


El análisis del Polonio-210 se utilizara técnicas radioquímicas especiales de concentración.

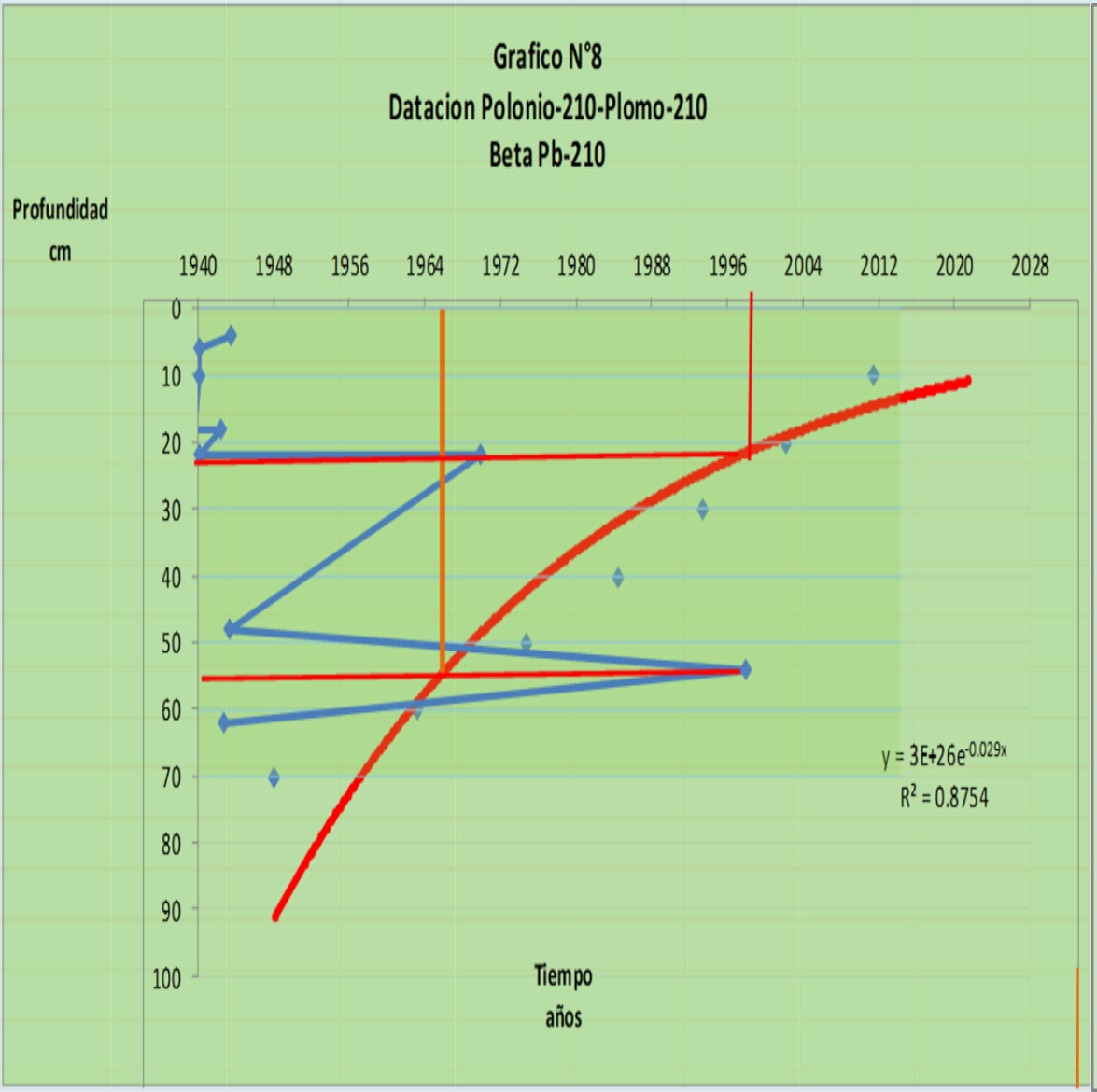
La medición se realiza con un equipo espectrometría alfa de alta resolución

Resultados experimentales del Plomo^{-210} y Ra^{-226} por centelleo liquido



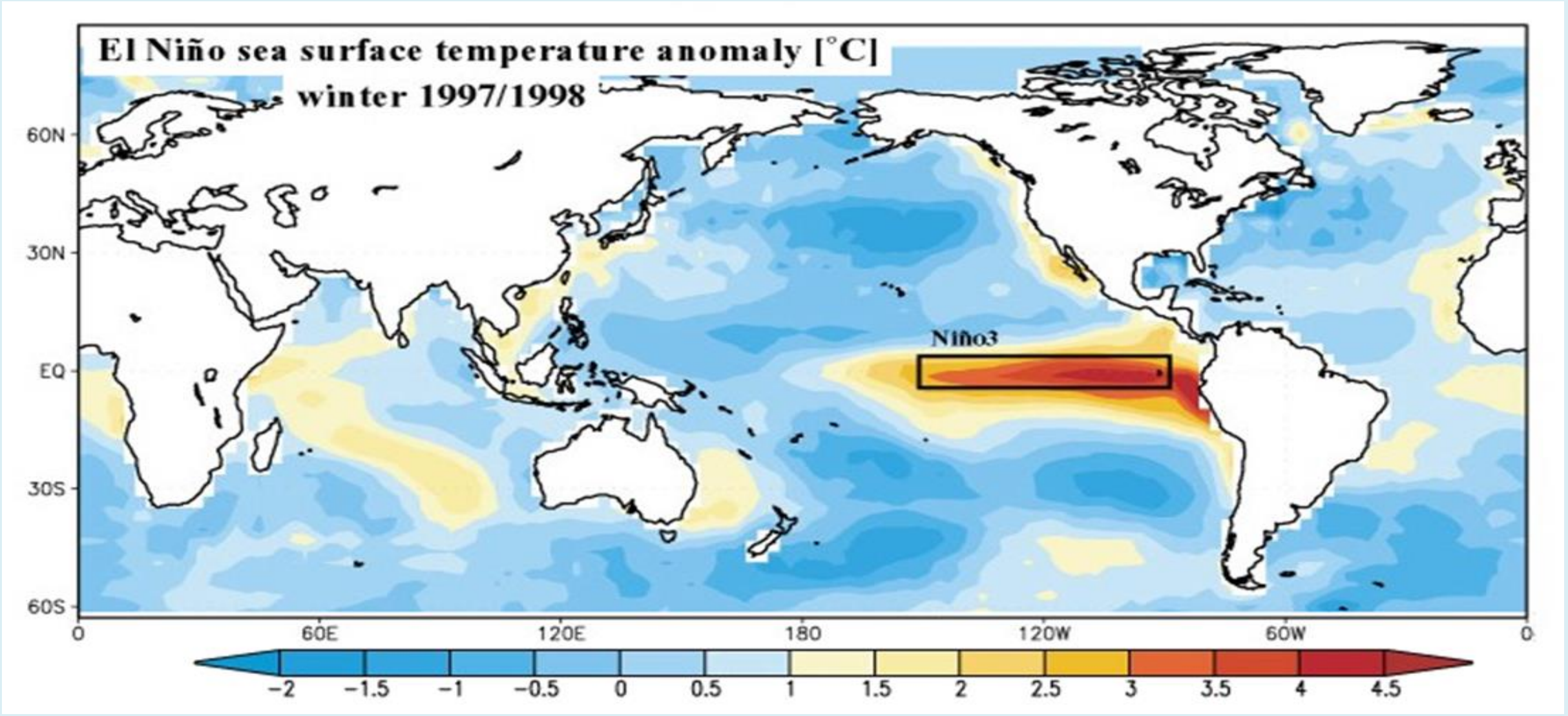


interceptando los gráficos del Pb^{-210} y Ra^{-226}





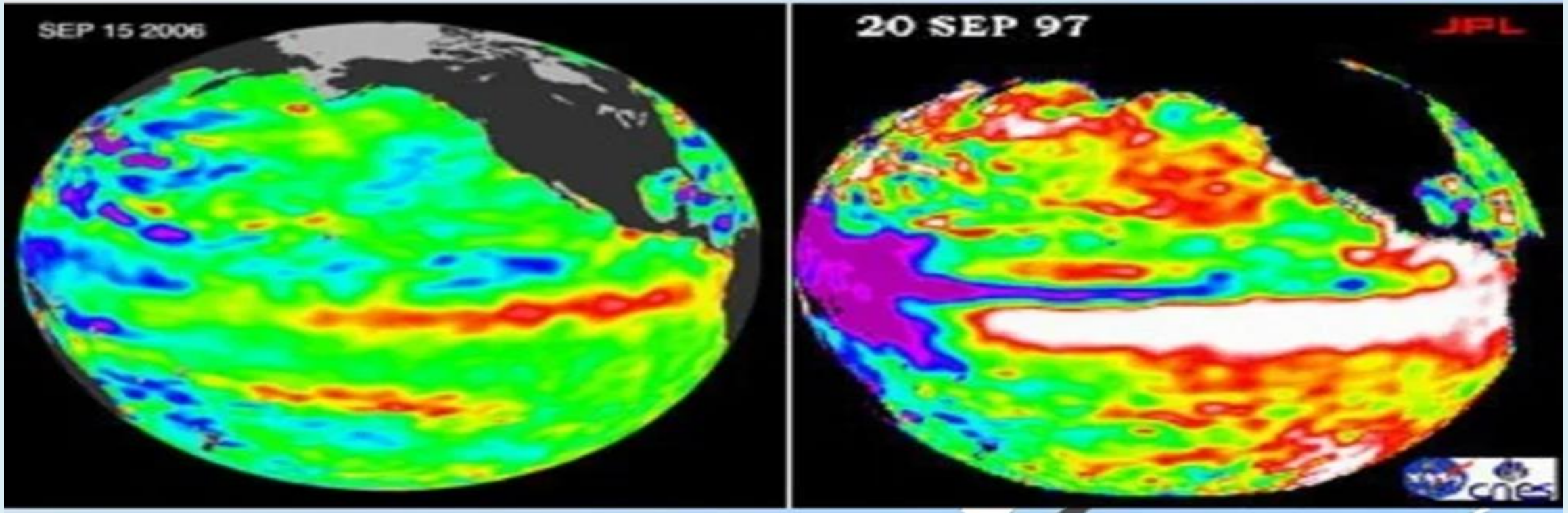
Fenómeno del Niño 1997-1998



Fenómeno del Niño 1997-1998

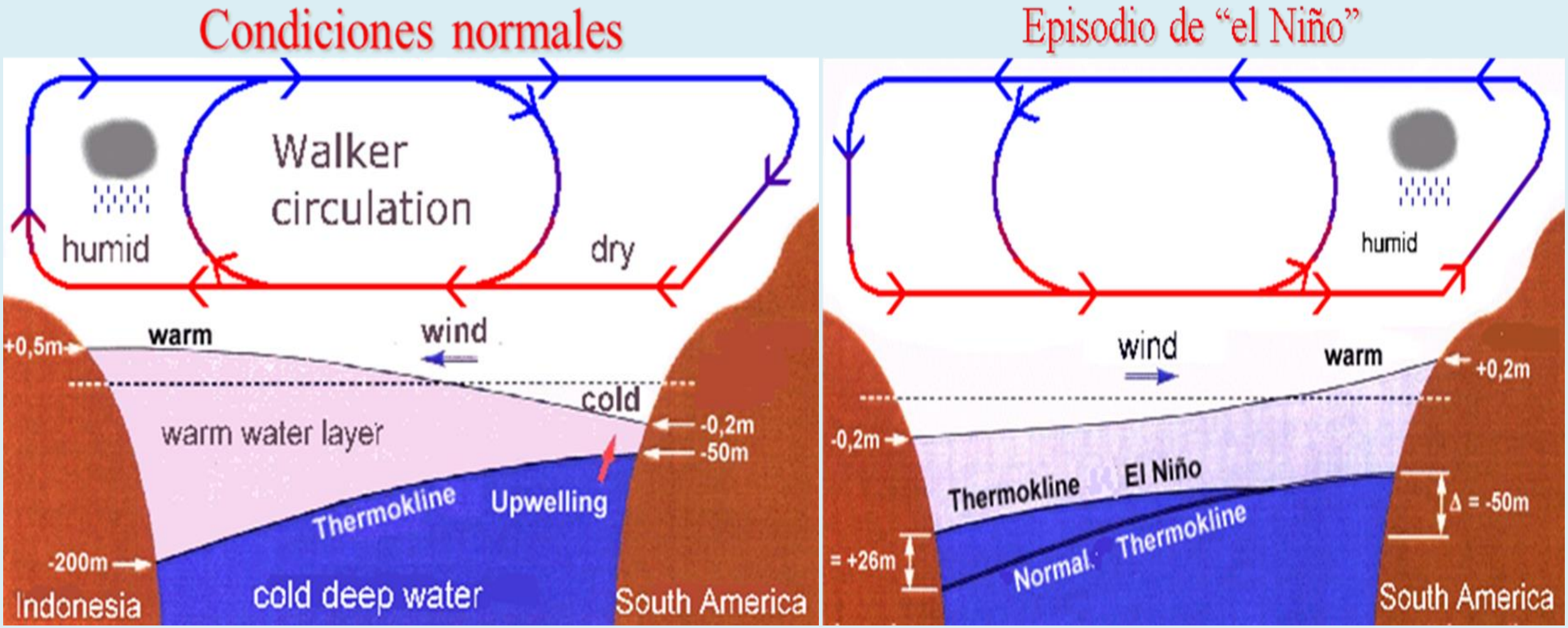
SNET

Niño 2006 vrs. 1997



Servicio Nacional de Estudios Territoriales

Fenómeno de remoción de sedimento marino



Fuente: Instituto de tecnologías educativas Gobierno de España

Terremoto Callao 1966

Terremoto de Lima y Callao de 1966

Summary

El **Terremoto de Lima y Callao de 1966** se produjo el lunes 17 de octubre de 1966 a las 4:41 de la tarde (hora local), y afectó Lima, Callao y toda la franja litoral al norte, hasta Supe. Su epicentro se ubicó en el mar, frente a Las Salinas de Huacho, Huaura. Produjo también un maremoto. Fue uno de los terremotos más destructivos ocurridos en Lima después del Terremoto de 1940, pero su recuerdo ha quedado opacado en la memoria de los limeños por el terremoto de Ancash, ocurrido cuatro años después y que produjo el saldo de 100,000 víctimas.

El sísmo y sus consecuencias

EDIA ▾ CÓMO FUNCIONA

sensación que tuvieron los limeños fue que se trataba solo de un temblor fuerte y que culminaría en breves segundos. Sin embargo, los sacudones se sucedieron interminablemente, cada vez con mayor fuerza y entonces se desató el pánico. El sísmo duró unos 45 segundos. Muchas viviendas se desplomaron y hubo más de un centenar de muertos.

En Lima las zonas más afectadas fueron La Molina (VIII MMI), Puente Piedra (VIII), las zonas antiguas del Rímac y del Cercado, las zonas adyacentes a los cerros y una banda a lo largo del río Rímac (VII) hasta el Callao. Los mayores daños se registraron en los edificios de poca altura. En edificios altos hubo grietas en muros de tabiquería.

Terremoto de Lima y Callao de 1966	
8.1 USGS en potencia de Magnitud de Momento	
Parámetros	
Fecha y hora	Lunes 17 de octubre de 1966 16:41 hora local
Profundidad	> 30 km
Coordenadas del epicentro	10°42′S 78°42′O
Consecuencias	
Zonas afectadas	Costa del departamento de Lima, entre Lima y Supe, Perú.
Mercalli	IX
Shindo	7
Réplicas	Desconocido
Víctimas	220 muertos 1,800 heridos.

[editar datos en Wikidata]

En el Callao, la Iglesia Matriz se desplomó y el tsunami varó cargueros en tierra. Otras poblaciones gravemente afectadas fueron Chancay, Huacho, Huaura y Supe.

El área de percepción cubrió aproximadamente 524,000 km². Se contabilizó dos centenares de muertos. Los damnificados se calcularon en 258,000. Los daños materiales ascendieron a mil millones de soles oro de la época.

Intensidades según Escala Modificada de Mercalli (MMI)

editar

IX: San Nicolás, a 120 km al N de Lima

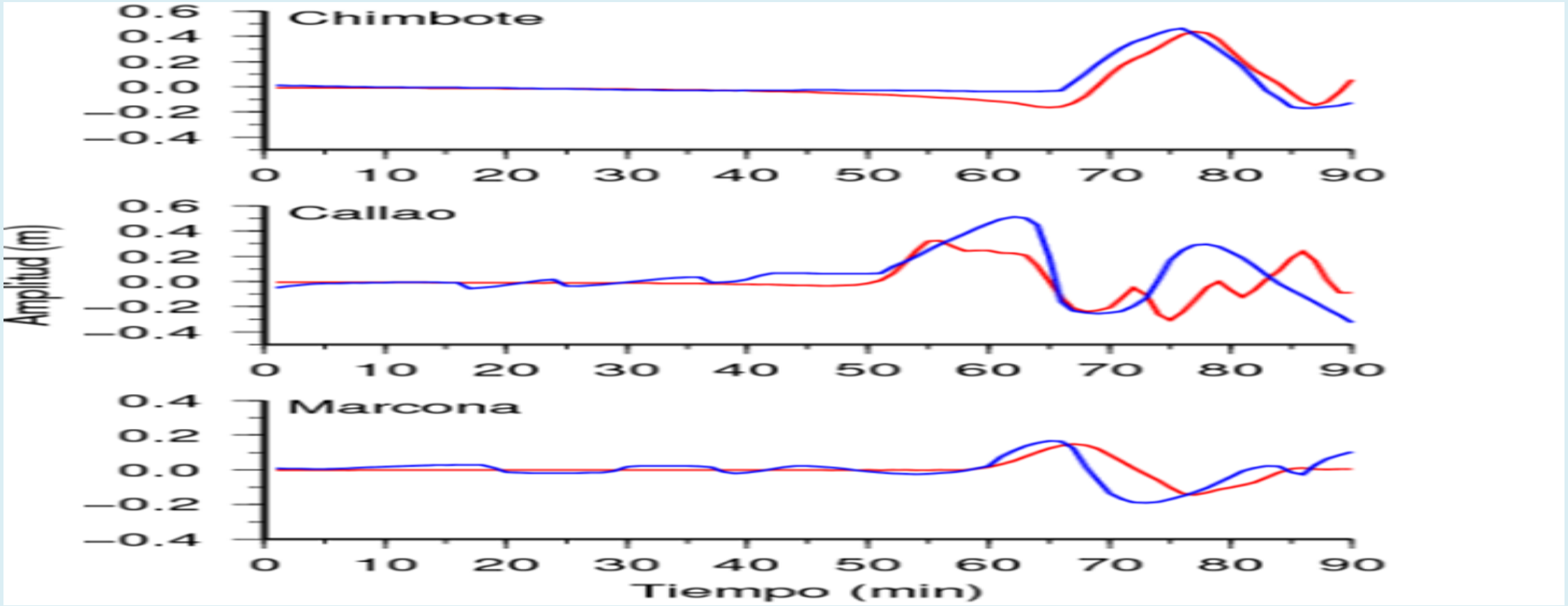
VIII: Huacho, Huaura, Chancay, Puente Piedra y Supe.

VII: Lima, Callao y Cajatambo.

VI: Chimbote y Virú.

V: Trujillo.

Comparación de los mareogramas observados (en azul) y simulados (en rojo) para el tsunami de Huacho de 1966



Fuente: Estimación de la fuente sísmica del terremoto de Huacho 1966 (8.1 Mw) a partir de inversión de registros de tsunami- C. Jimenez

Uso del Plomo-210 Polonio-210 para el estudio de datación y cambio climático

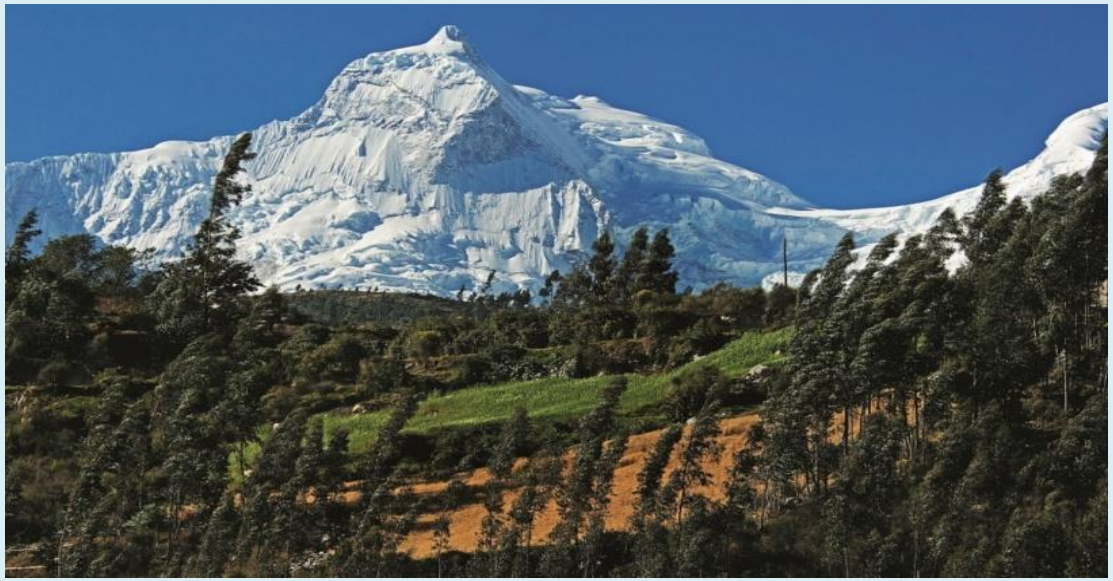
Conclusión general:

- Para la datación de Po-210 y Pb-210 se puede utilizar para un periodo de 200 años.
- La técnica de datación de polonio para su validación tiene que utilizarse técnicas de espectrometría alfa, gamma y centelleo liquido.
- En el muestreo hay que tener mucho cuidado de no mezclar las diferentes capas de sedimento.
- tener presente que las capas escogidas no deben haber sido alteradas por la presencia humana y poca actividad animal.

Tritio en el medio ambiente

Presencia en la naturaleza del Hidrogeno

1. **Elemento mas abundante en el Universo**
   - **92 % de la materia conocida**
   - **7% de He y 1% restante los demás elementos**
2. **En la tierra es el 10° elemento mas abundante (0.81%), Normalmente se encuentra combinado**
   - **H_20 80% del planeta esta cubierto de agua**
   - **Elemento indispensable para los seres vivos**

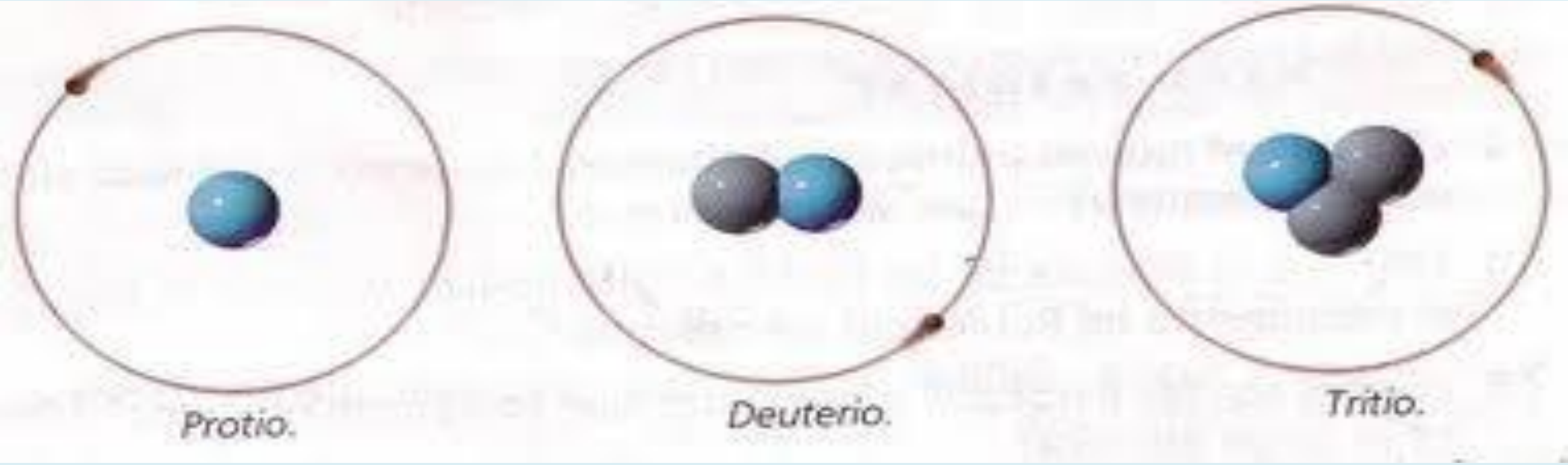




Tritio en el medio ambiente

Presencia en la naturaleza del Hidrogeno

3. **El hidrogeno tiene dos isotopos estables y uno radiactivo**
   - **Protio (Hidrogeno-1) Abundancia 99.98%**
   - **Deuterio (Hidrogeno-2) abundancia 0.0184%**
   - **Tritio (Hidrogeno-3) Abundancia $7x10^{-16}$ % Vida media 12.26 años emite partículas Betas**



Formación del tritio en el medio ambiente

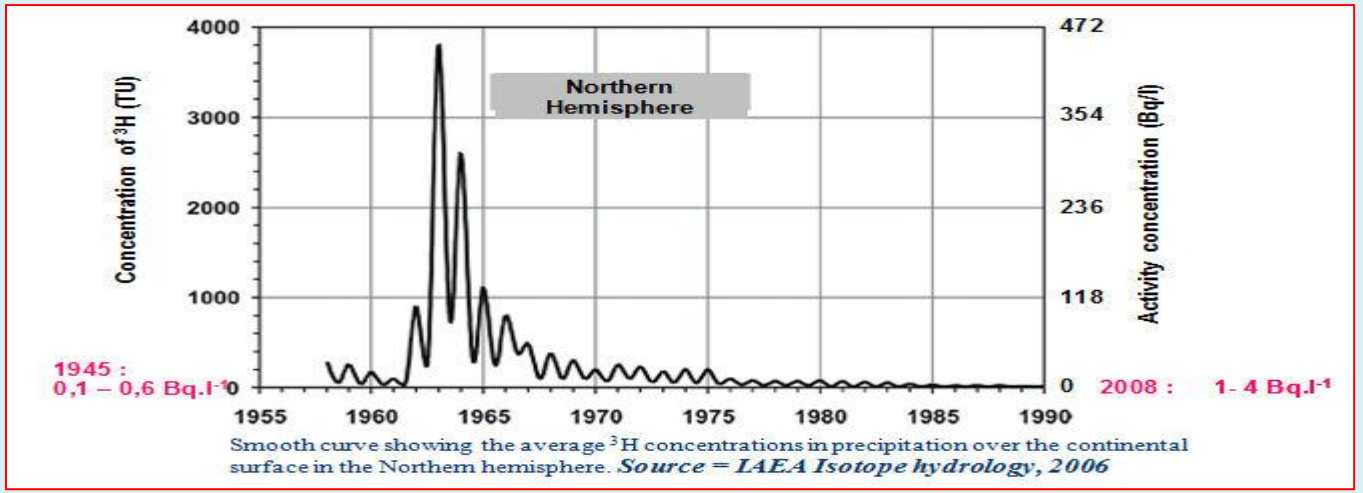
A) Explosiones nucleares realizadas al medio ambiente, (1940 a 1970)



$$^{14}N + n \rightarrow {}^{12}C + {}^{3}H$$

Aumento el nivel de tritio a mas de 1000 TU la precipitación radiactiva en 1960 el promedio mundial

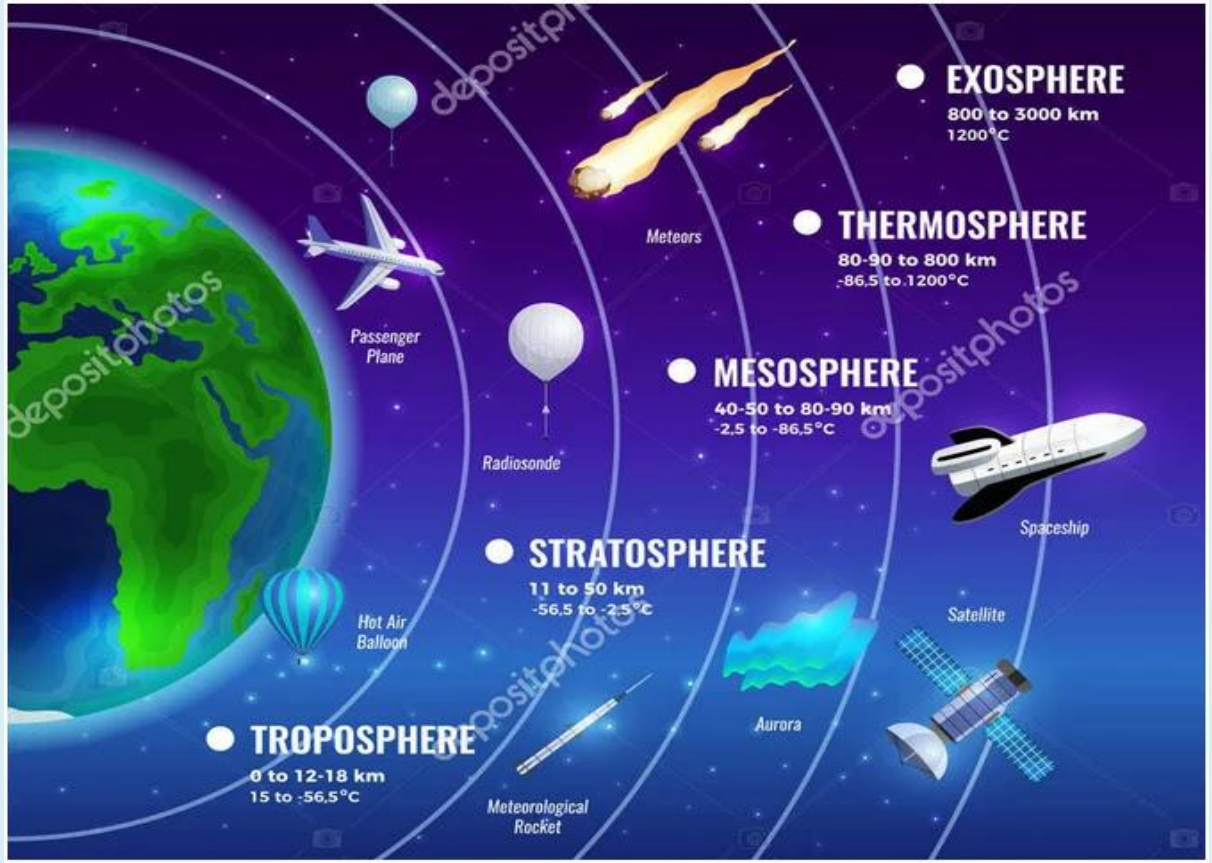
Nota: 1TU = 0.118Bq/L



Smooth curve showing the average ^{3}H concentrations in precipitation over the continental surface in the Northern hemisphere. *Source = IAEA Isotope hydrology, 2006*

Formación del tritio en el medio ambiente

B) Cosmogénico: El tritio se produce en la Estratosfera de manera Natural por efecto de la interacción con los rayos cósmicos

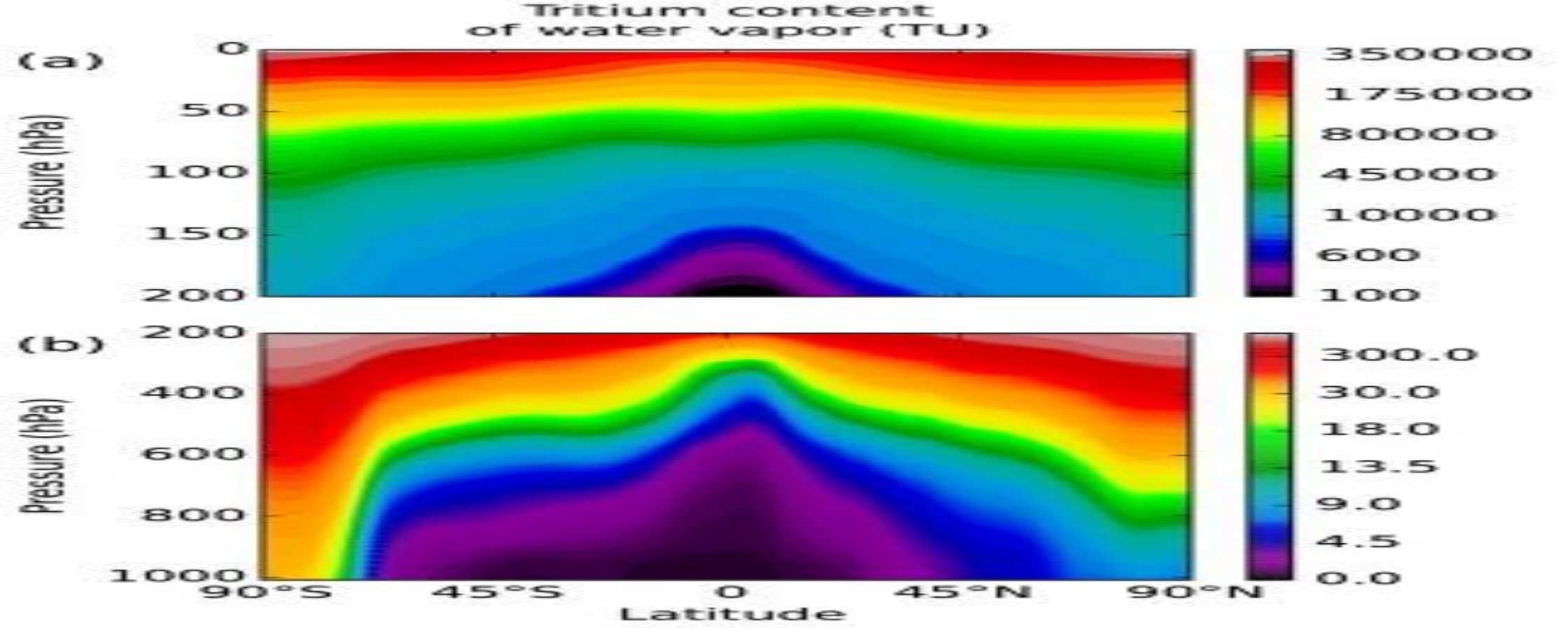


El aporte de tritio al medio ambiente a través de las precipitaciones (nieve lluvia) se encuentran entre 0.8 TU a 15TU

$$^{14}N + n \rightarrow 3\ ^{4}He + {}^{3}H$$

El 90 % del tritio se encuentra en la hidrosfera.
El 9.9% se encuentra en la estratosfera.
El 0.1 % se encuentra en la troposfera

Variabilidad del tritio según la latitud y presión de vapor

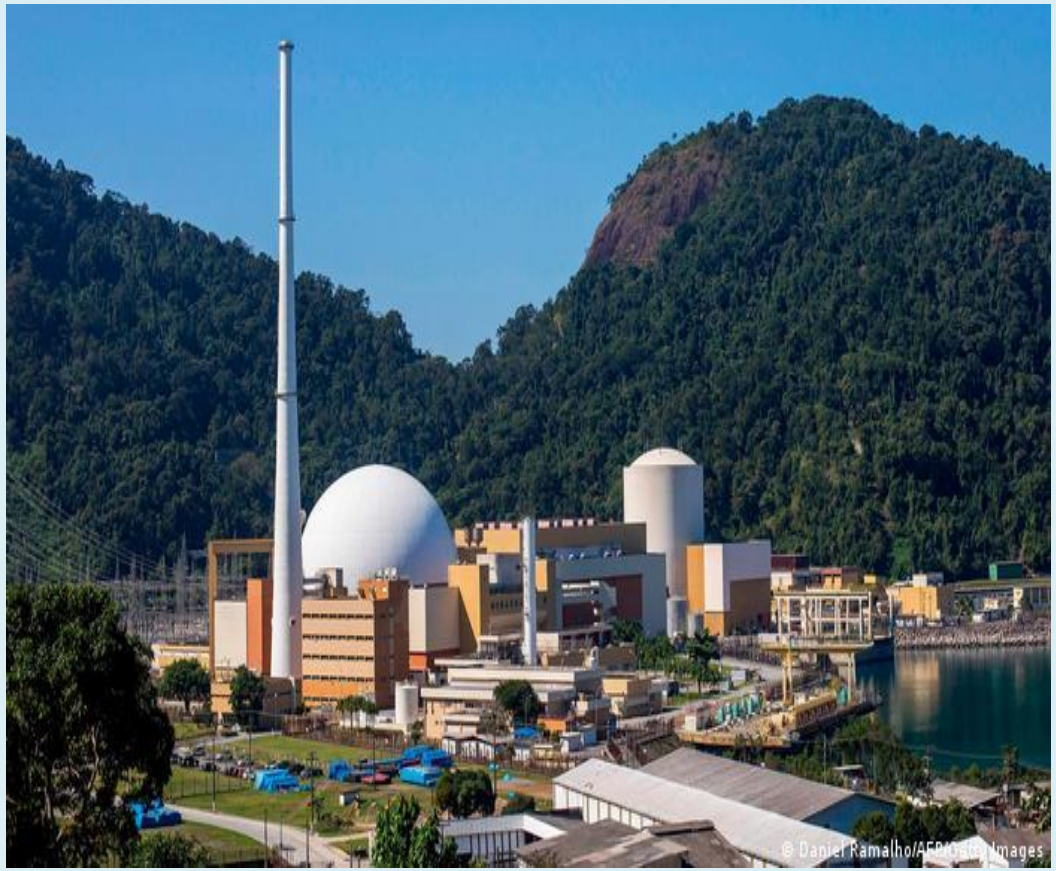


Modelo simulado del Contenido de la presion de vapor del agua en function de la presion atmosferica (hPa) y latitud: (a) La estratosfera menores a 200 hPa (b) La troposfera entre 200 y 1000 hPa.

A. Cauquoin; Earth and Planetary Science Letters 2015

Formación del tritio en el medio ambiente

C) Antropogénico: El tritio se produce en reactores nucleares es el aportantes mas relevante

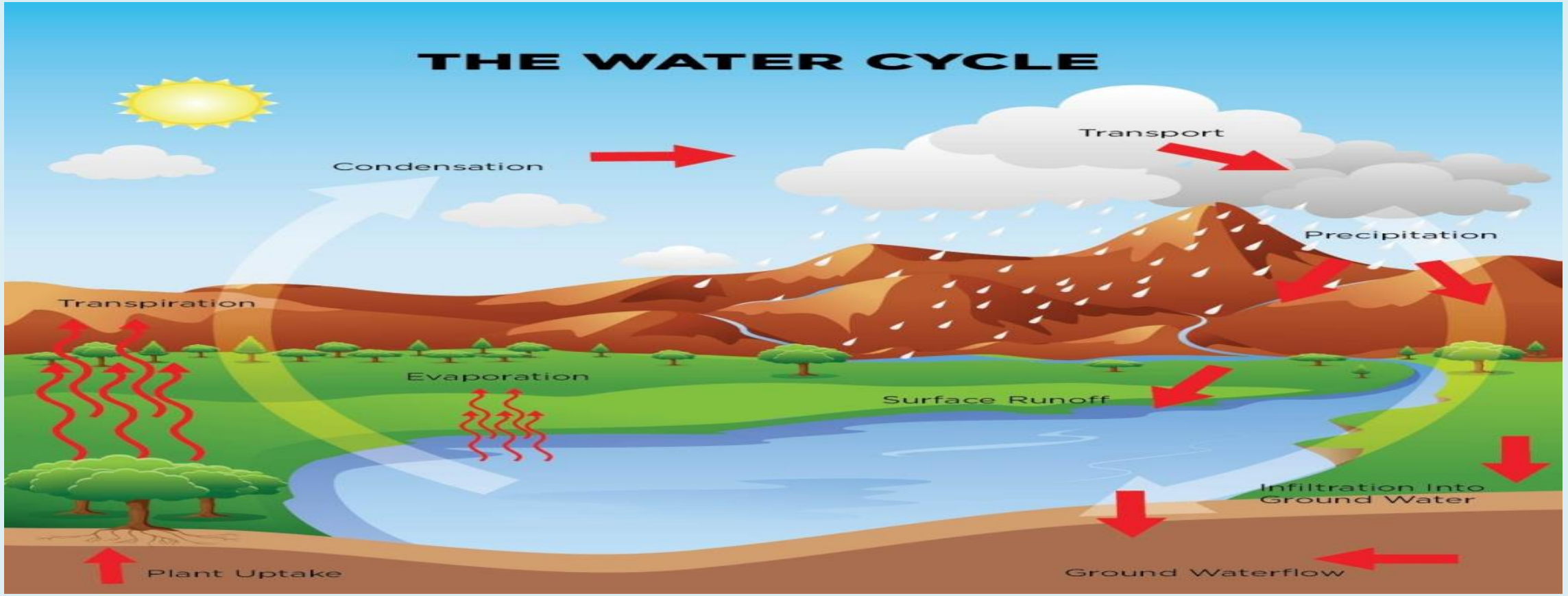


El aporte de tritio dependerá de la capacidad del reactor y el tiempo que este se encuentre en funcionamiento

En menor medida también se produce tritio en algunos desechos médicos, algunas industrias que producen explosivos y lámparas de iluminación, etc

Ciclo del tritio en el medio ambiente

El tritio formado en la estratosfera va ha seguir el mismo ciclo del agua

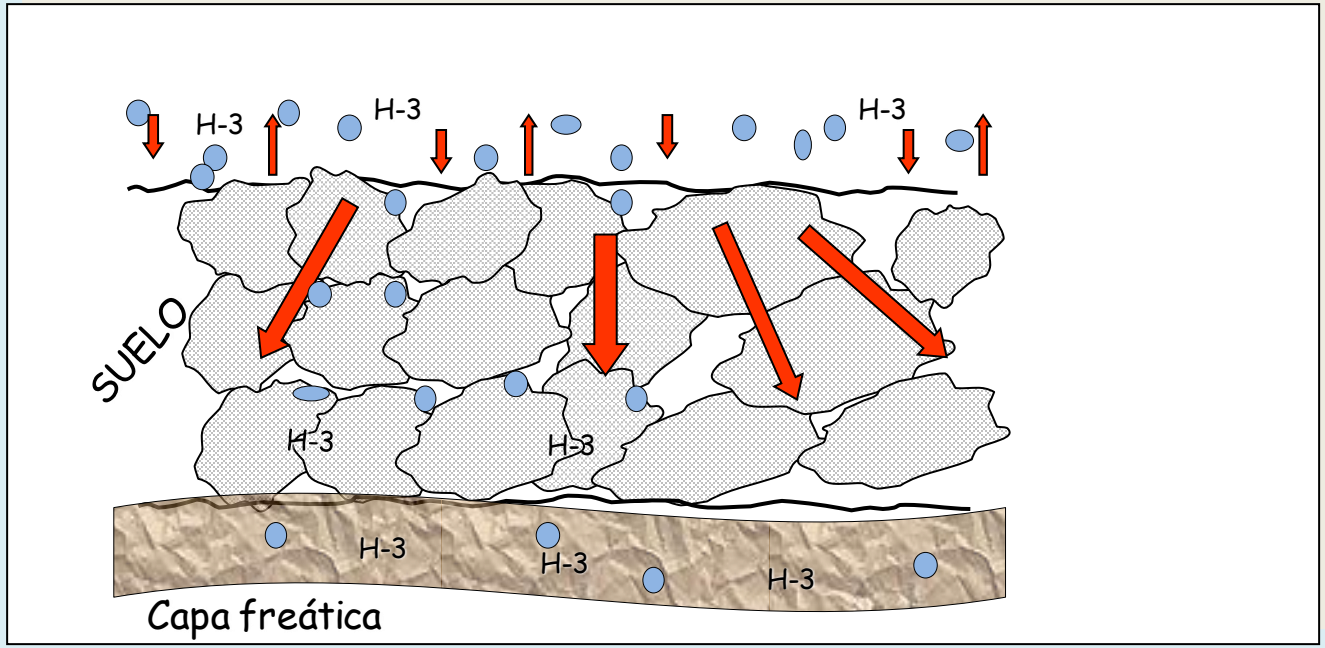


Mecanismo del Tritio en el medio ambiente

Tritio en la superficie terrestre

El tritio llega a las superficie terrestre a través de la precipitaciones (lluvia, nieve) de forma natural formando lagunas, aguas subterráneas y glaciares.

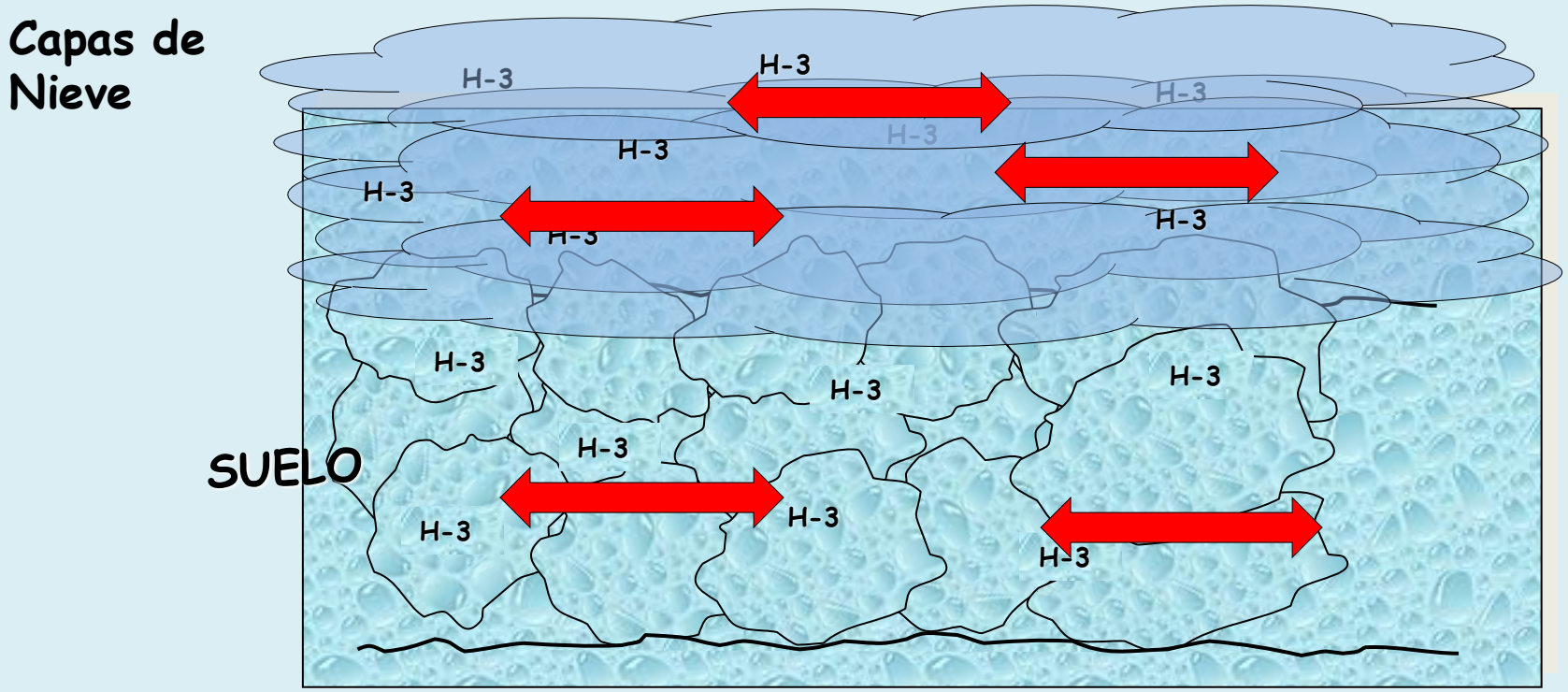
A) Una parte del tritio penetra a la capas freáticas formando aguas subterráneas que según el tiempo de permanencia el tritio disminuirá por su decaimiento radiactivo



B. El tritio que se encuentra en la superficie se evaporara y seguirá el ciclo del agua

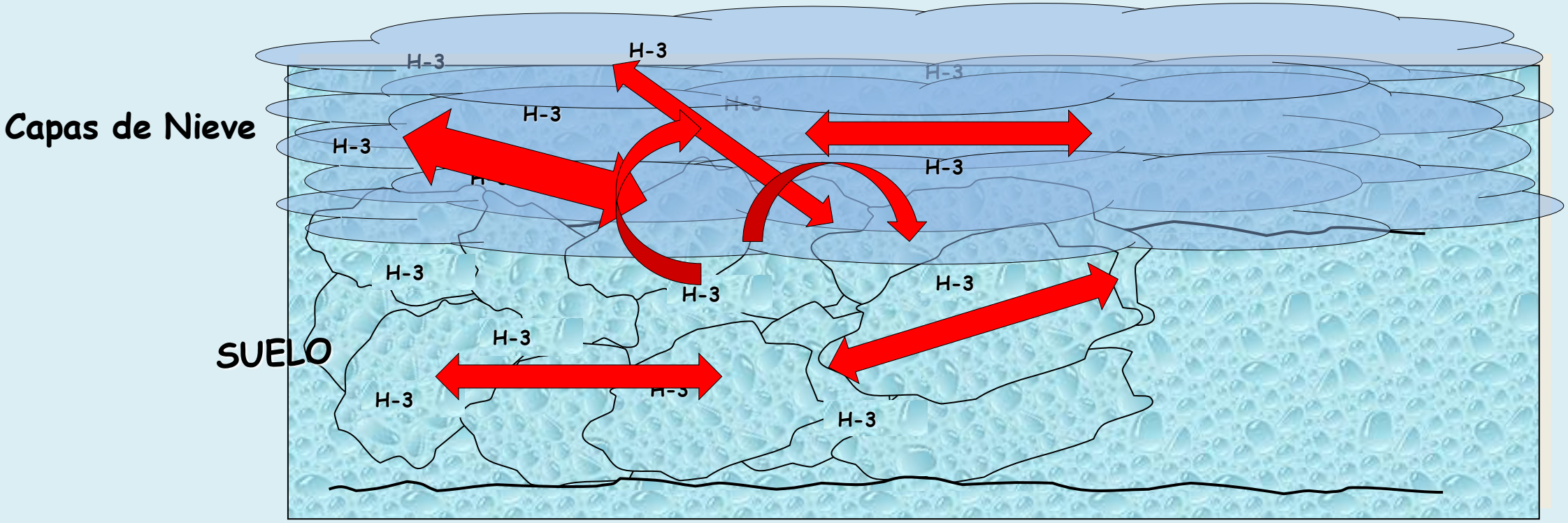
Mecanismo del Tritio en el medio ambiente

C. La nieve según el tiempo que se encuentre en la montaña formaran capas de diferente profundidades de glaciares de mas antiguos a mas nuevos por lo consiguiente el tritio que se encuentra en estas capas asumirán el mismo comportamiento de estos y dependerá de su decaimiento radiactivo para la antigüedad de estos.



Mecanismo del Tritio en el medio ambiente

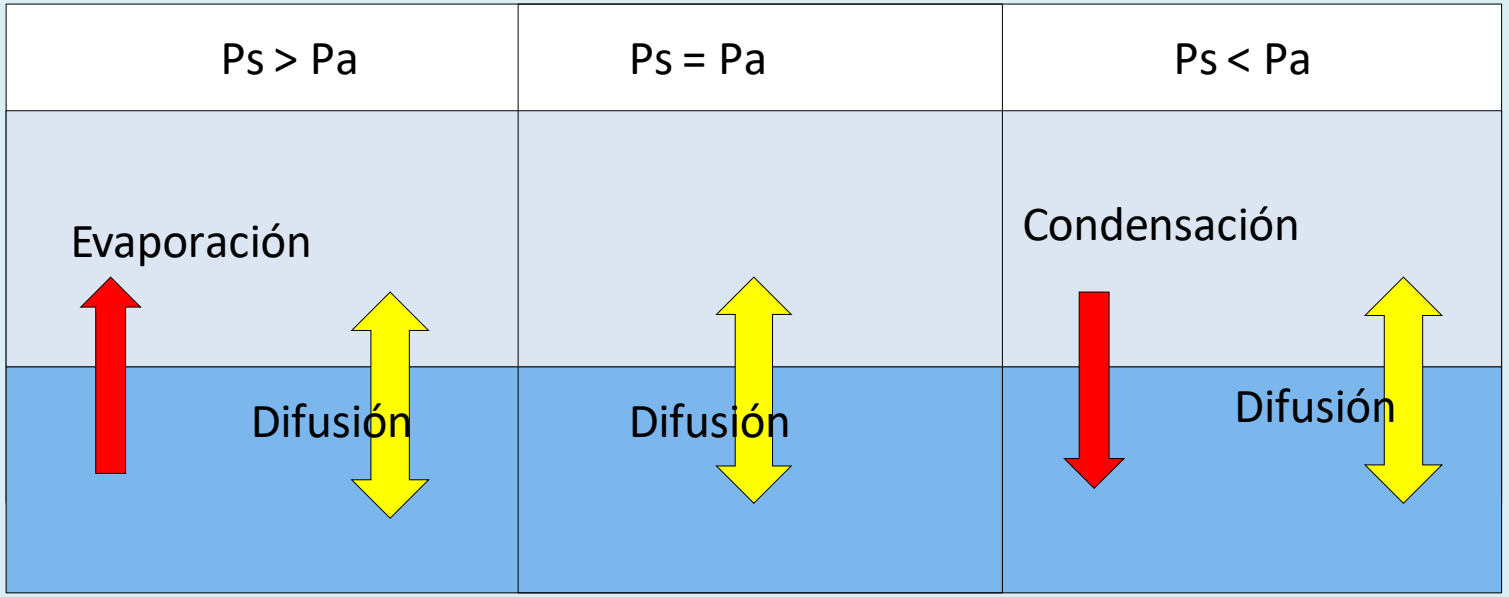
D) Cuando la nieve y glaciares se licuan (descongelan) el tritio de las capas se empiezan a mezclar con el consiguiente que el tritio antiguo con el tritio nuevo variaran sustantivamente, este podría ser un indicativo del cambio climático



Evaluación del tritio en glaciares o agua liquida

El agua tritiada realizara un intercambio atmosférico debido a los fenómenos de difusión evaporación y condensación

Ps = Presión de vapor del agua de saturación en el aire (mbar)
Pa = Presión de vapor del agua en el aire (mbar)



Propiedades físico químicas de hidrogeno

Propiedades	H_2	D_2	T_2
Masa atómica Molar	2.016	4.028	6.032
Punto de fusión K°	13.96	18.73	20.62
Punto de ebullición K°	20.39	23.67	25.04
$\Delta H°_{Fus}$ (KJ/mol)	0.117	0.197	0.25
$\Delta H°_{Vap}$ (KJ/mol)	0.904	1.226	1.393
Energia de Enlace (KJ/mol)	432	443	447
Densidad (g/cm^3)	0.09	0.2	0.32

Propiedades	H_2O	D_2O	T_2O
Peso molecular	18.015	20.07	22.0312
Punto de fusión C°	0.0	3.8	4.5
Punto de ebullición C°	100	101.4	101.5
Temperatura de máxima densidad C°	4	11.2	13.4
Densidad (g/cm^3)	0.997	1.104	1.214
Presion de vapor (mm Hg)	23.75	20.51	19.8

Mecanismo de un ciclón
Yaku Perú

En marzo de 2023, Perú experimentó un clima inusual marcado por la influencia del ciclón Yaku, que trajo lluvias intensas y vientos fuertes en varias regiones del país.

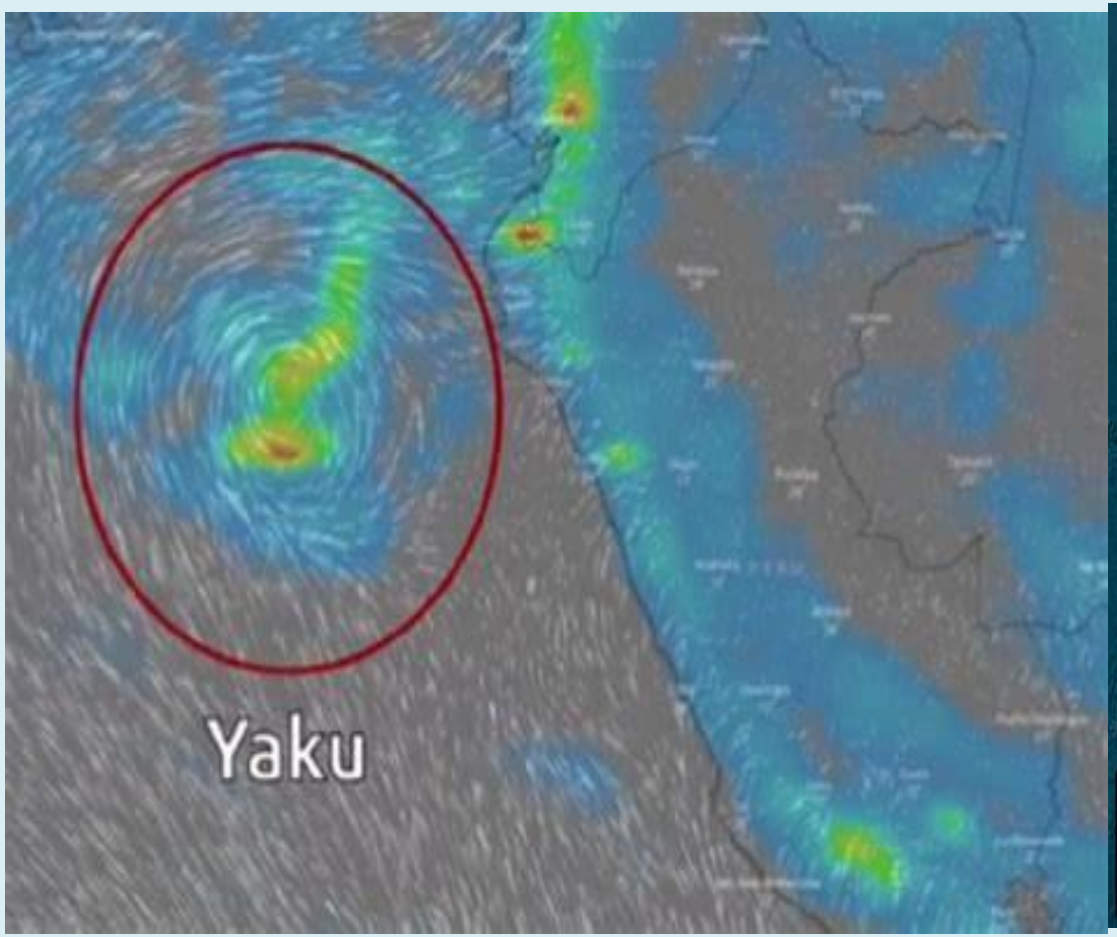
Influencia del Ciclón Yaku

En marzo de 2023, el ciclón tropical Yaku afectó la costa norte y central del Perú, facilitando un ingreso y acumulación de humedad significativa. Este fenómeno generó episodios importantes de lluvias entre el 5 y el 15 de marzo, particularmente en las regiones de La Libertad, Tumbes, Ancash y Lima. Las lluvias alcanzaron niveles sin precedentes, contribuyendo al desarrollo de mal tiempo y a un aumento notable de la humedad en la región.

Condiciones de Viento

Debido al ciclón Yaku, se registraron vientos fuertes asociados a las tormentas frontales. Las condiciones de viento en marzo fueron variadas, con ráfagas intensas en las áreas costeras y acumulación de lluvias que a menudo llevó a inundaciones en zonas vulnerables. Sin embargo, el viento no fue el único factor; la combinación de lluvias intensas y temperatura alta resultó en un clima desafiante para muchas localidades a lo largo de la costa y áreas adyacentes.

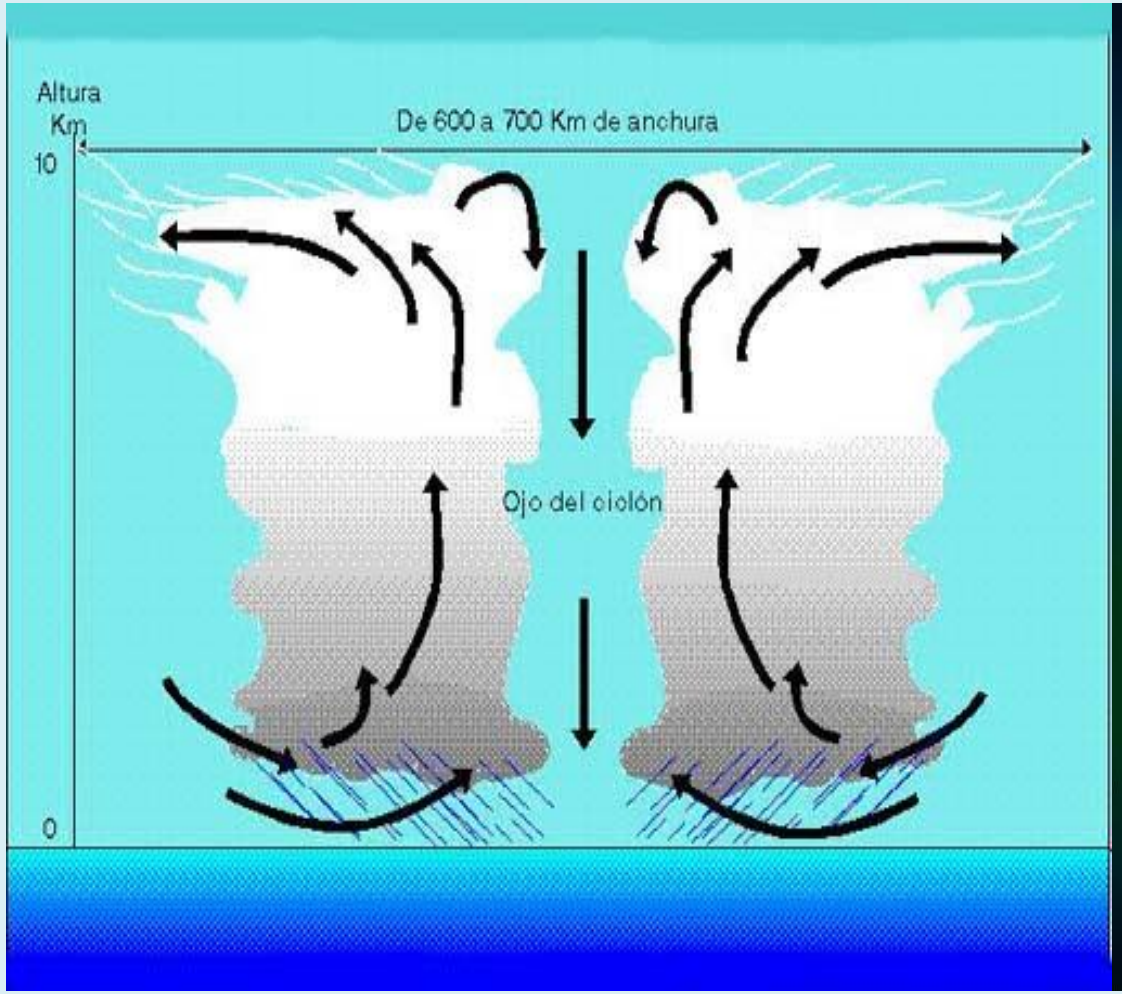
Mecanismo de un ciclón
Yaku Perú

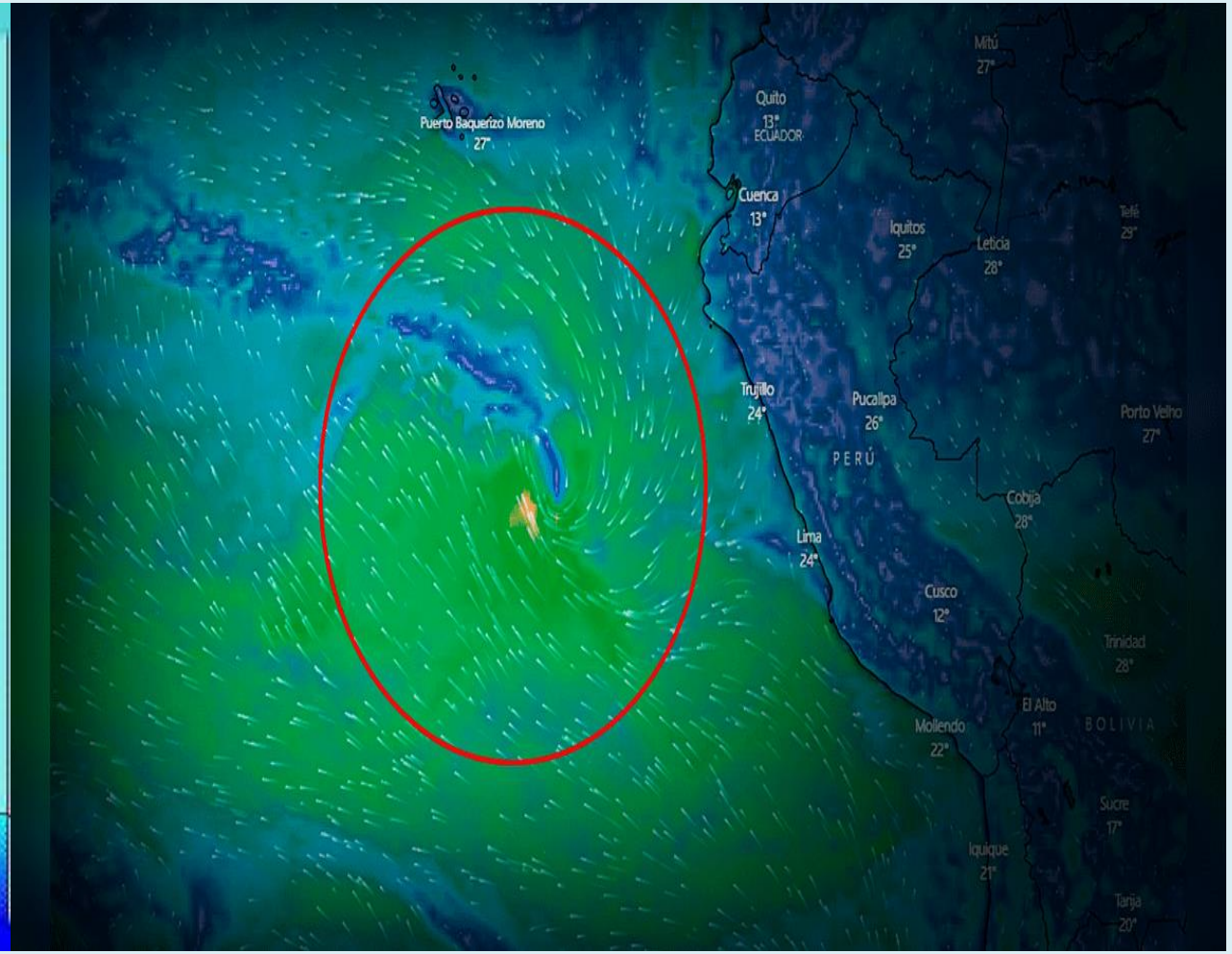




Fuente: Senamhi 2023

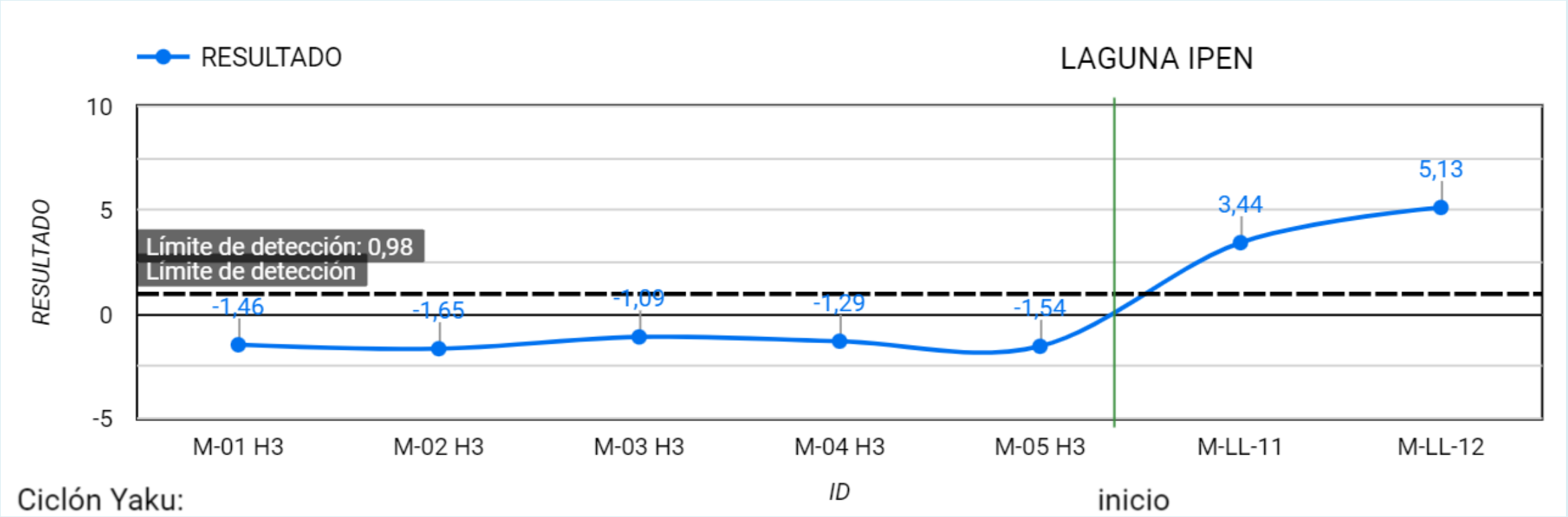
Mecanismo de un ciclón
Yaku Perú





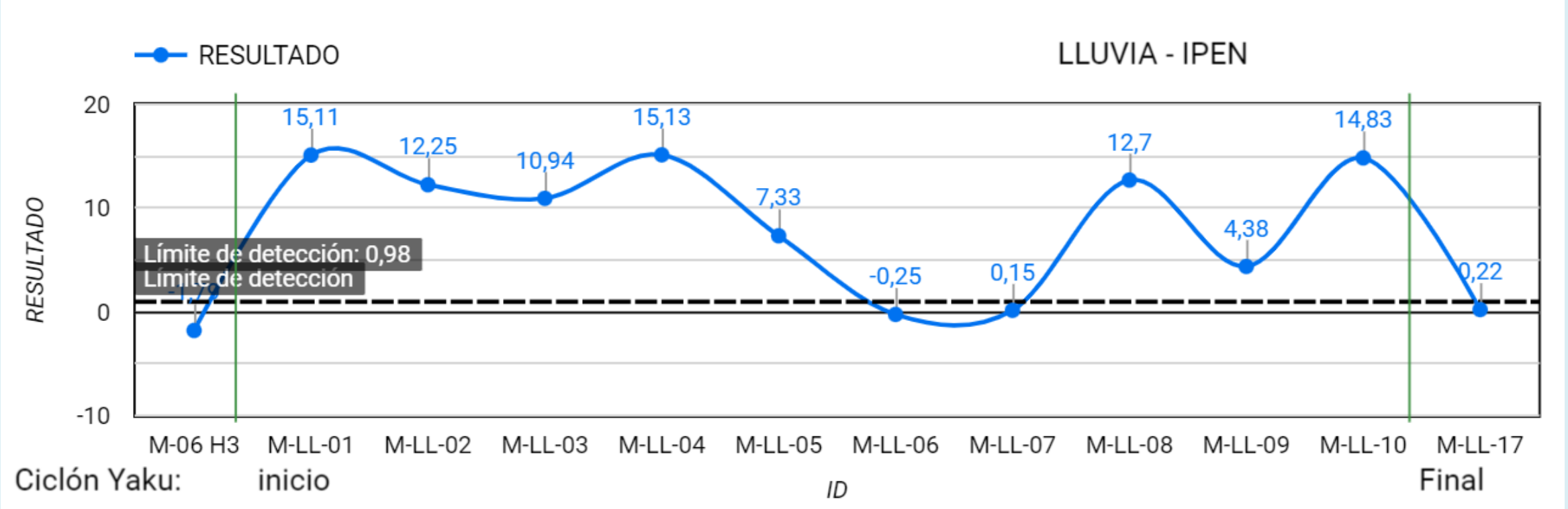
Fuente: Senamhi 2023

Evaluación del tritio en Lima Fenómeno Yaku



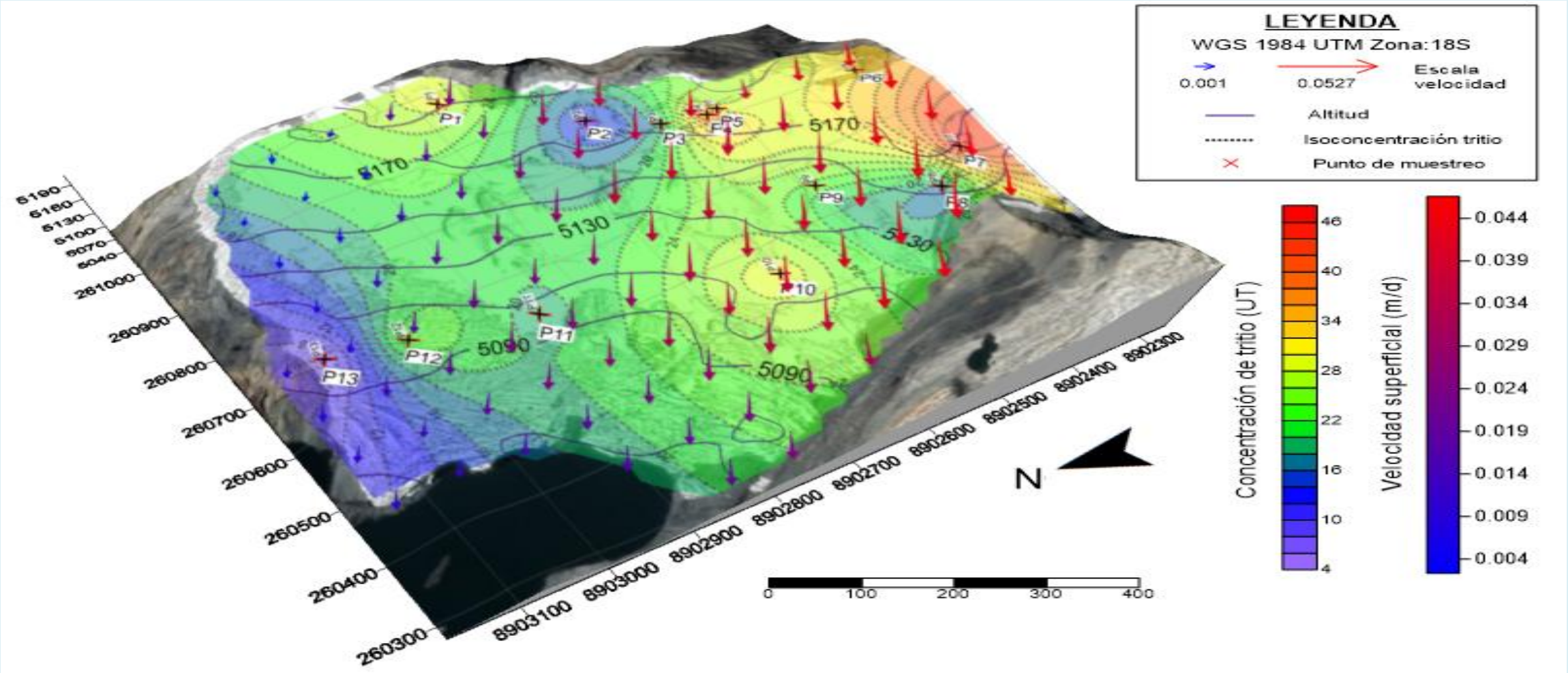
Concentración de Tritio en un laguna IPEN durante el evento del Ciclón Yaku 4 de marzo hasta el 20 de marzo 2023

Evaluación del tritio en Lima Fenómeno Yaku

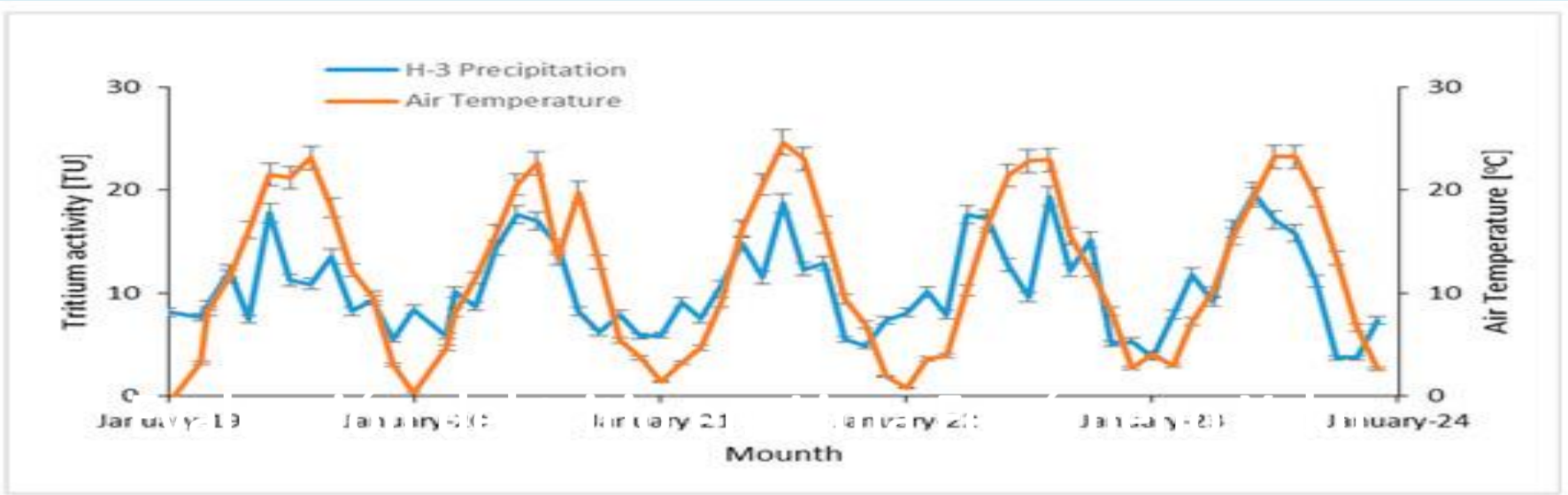


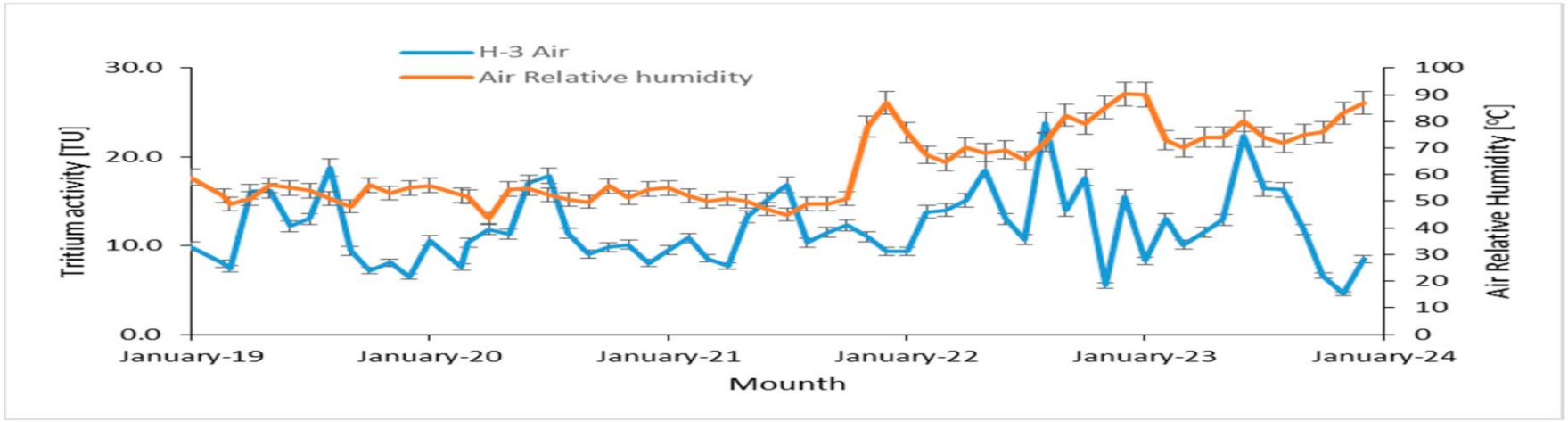
Concentración de Tritio en lluvia durante el evento del Ciclón Yaku 4 de marzo hasta el 20 de marzo 2023

Spatio-temporal distribution analysis of tritium isotope in Pastoruri glacier over the Andes



Evaluación del tritio en Viñedos Rumania 2019-2023





Reference : Tritium Behavior from Vine to Wine Irina wagner Appl. Sci. 2024,

Tritio en el medio ambiente

Conclusión general:

- Las zonas de muestreo tienen que ser lugares en el cual no ha sido alterado por actividad humana
- Con el tritio se puede realizar datación del agua con métodos de enriquecimiento y destilación.
- Se Puede ver a través del tritio ambiental fenómenos atmosféricos por las anomalías existentes con esta técnica.
- El Tritio nos puede indicar como es el movimiento de los glaciares y el fenómeno de desglaciación por el calentamiento global.
- El valor de la concentración de Tritio antes del evento Yaku se encuentra por debajo del límite de detección. Se aprecia un incremento de la concentración de tritio a dos o tres semanas iniciado el evento, Un vez terminado el evento del ciclón Yaku se espera que los valores de lluvia se encuentren en valores normales.

Aplicaciones de Isotopos Radiactivos para estudios ambientales
Abril 2025

Agradecimientos:

- Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)
- Instituto Nacional de Investigaciones en Glaciares y ecosistemas de Montaña (INAIGEM)
- Instituto del Mar del Perú (IMARPE)
- Universidad Católica
- Universidad Nacional de San Marcos
- Universidad Nacional de ingeniería
- Universidad Nacional San Agustín (Arequipa)
- Universidad Federico Villareal
- Universidad de Cantabria (España)
- Fuerzas Armadas del Perú

GRACIAS

email: jmartinez@ipen.gob.pe



INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR - IPEN

UNSAAC
Universidad Nacional de
San Antonio Abad del Cusco

CURSO INTERNACIONAL DE RADÓN – CUSCO 2025

EVALUACION DE LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN AIRE EN VIVIENDAS DE LA CIUDAD DEL CUSCO

MCs. Rocio Arteaga Curie





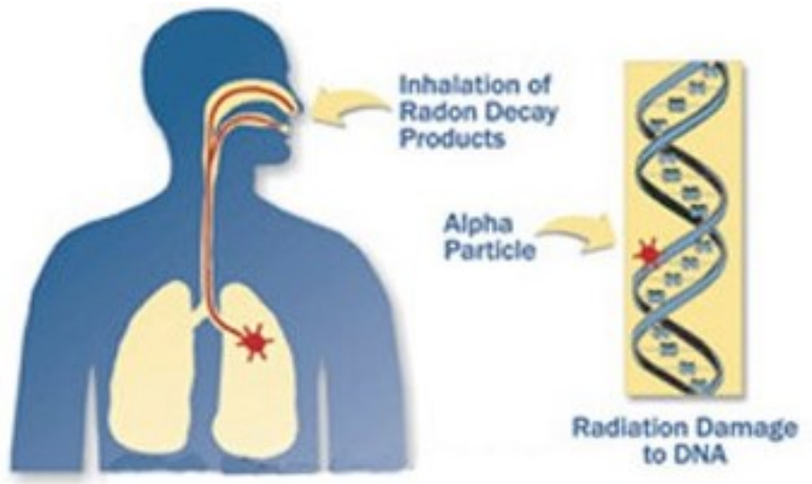
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

La exposición por inhalación de radón por un largo periodo de tiempo puede causar cáncer de pulmón

OMS

PNUMA

AIEA



IARC

ICRP

.. otros

Fuentes de Radón

Suelo

Depende de:

Tipo de suelo (Porosidad)
y rocas (cont. de radionúclidos)
presentes en cada zona.

1 Bq/m^3 y 100 Bq/m^3 (Hernández, 2016)

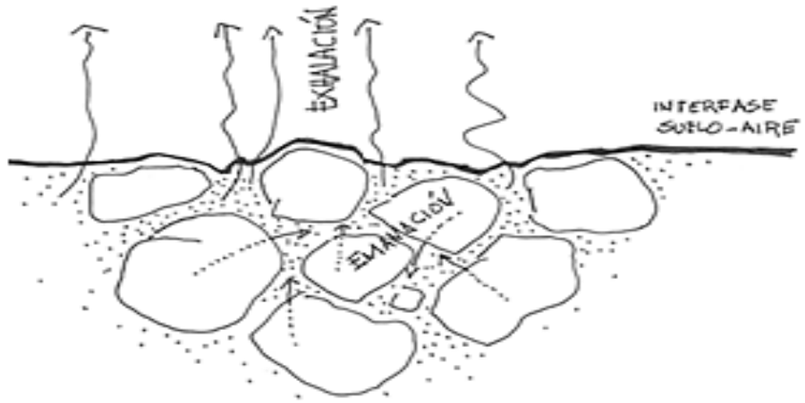
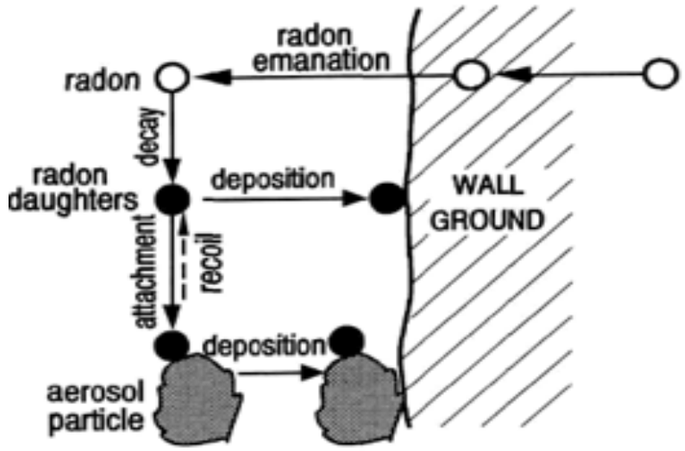


Imagen extraída de Frutos (2009)

Materiales de construcción

Extraen de rocas o terrenos que podrían contener radionúclidos o que derivan de subproductos de procesos industriales que contienen uranio U-238, torio Th-232 entre otros. Contribuye con 15% a un 20% (Ruano et al., (2014))



Agua

Presentan concentraciones de radón
Sobre rocas sedimentarias: (5 000 a 70 000 Bq/m^3)
Sobre rocas ígneas: (50 000 a 500 000 Bq/m^3)
pueden disminuir a 2 Bq/L (2 000 Bq/m^3)

Extraído de Durrani & Bull (2013)

Fuentes de radón

Actividad por kilogramo de radio y torio en algunos materiales de construcción usados en Unión Europea

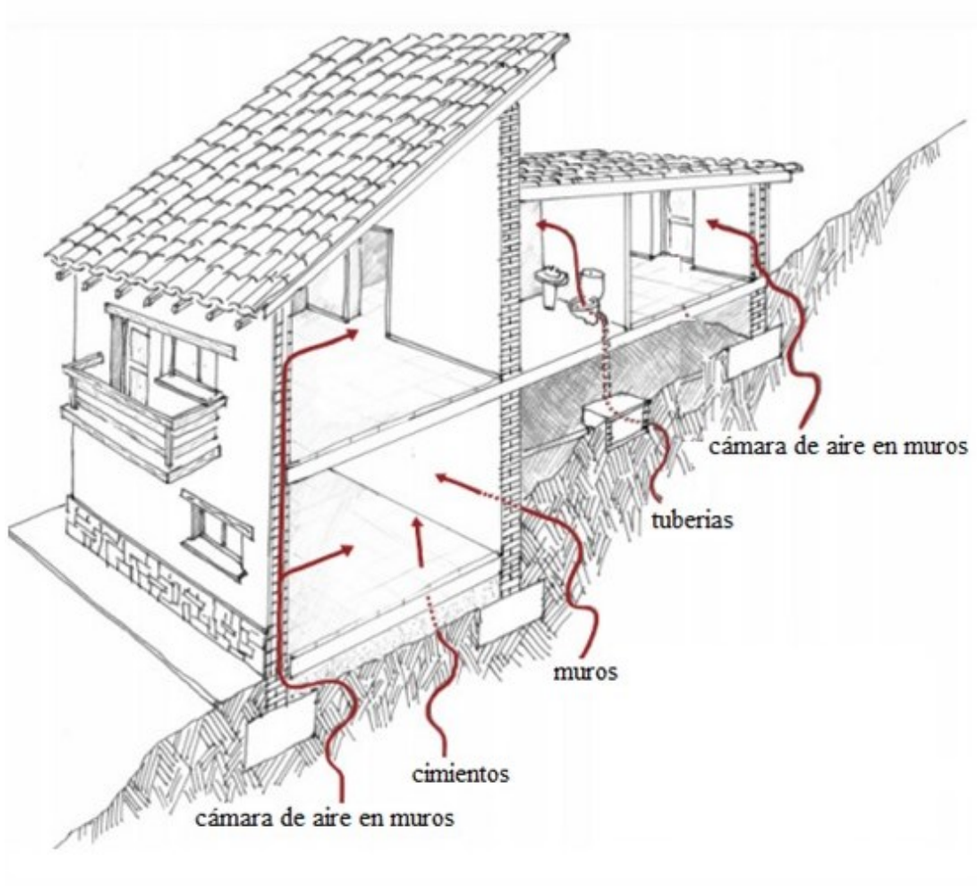
Material	Radio 226 (Bq/kg)	Torio 232 (Bq/kg)
Concreto	40	30
Yeso natural	10	10
Ladrillos de arcilla roja	50	50
Piedras naturales de construcción	60	60
Fosfoyesos	390	20

Datos extraídos de EC-European Commission, (1999)

Actividad por kilogramo de radio y torio en algunos materiales de construcción usados en la costa central peruana

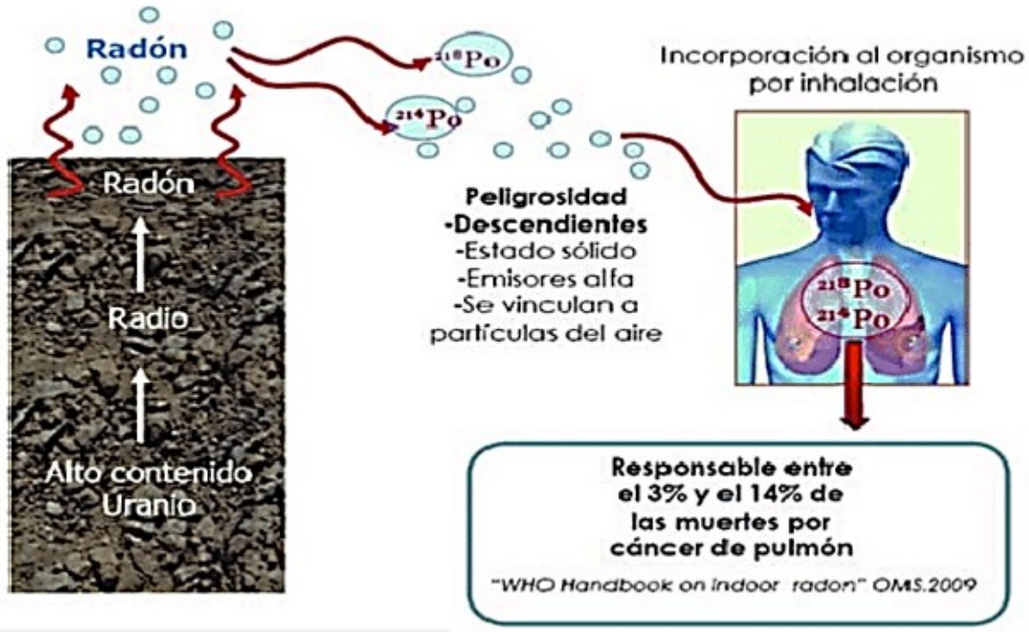
	Concentración de Actividad (Bq/kg)	
Material	Ra -226	Th 232
Cemento S	33.3	7.8
Cemento PR	42.5	10.8
Cemento A	31.8	7.8
Cemento PV	43.8	9.9
Cemento Y	30	9.5
Arena G	40.9	15.4
Arena F1	23.8	7.7
Arena F2	42.1	13.4
Yeso M	1.1	
Yeso L	1	
Concreto 1	44.4	19.6
Roca C	28.7	10.8
Ladrillo P8	60.6	21.4
Ladrillo P9	50.6	22.3

Datos extraídos de Liza, (2023)



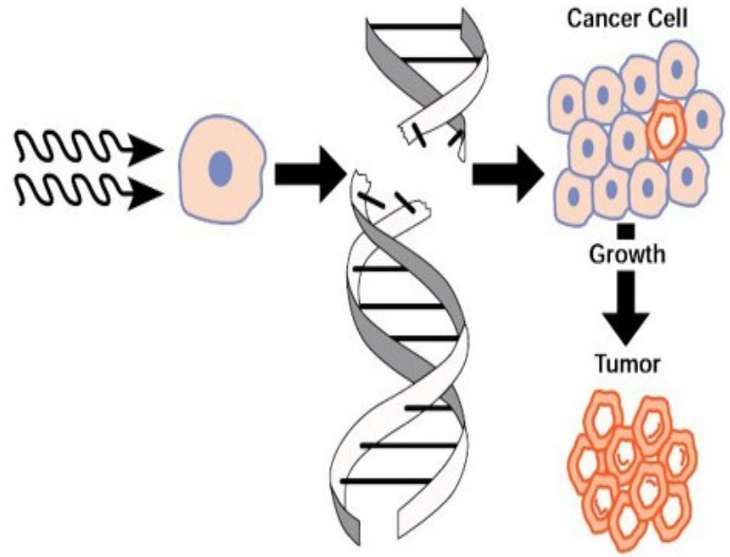
Efectos del radón en la salud

Radón un peligro para la salud



Fuente: CSN, (2013)

Desarrollo de cáncer a partir de mutaciones producidas por radiaciones ionizantes

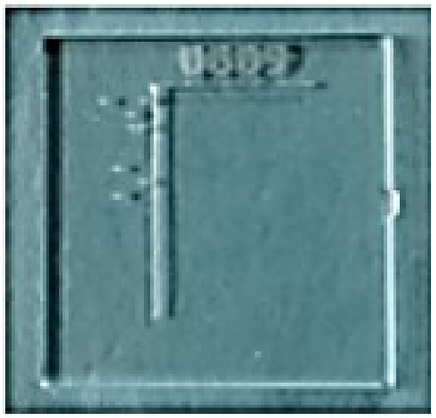


Extraído de "A Portal to Earth Education Resource", por Laura Gilstrap

Estudio europeo, incluyó más de 7000 casos y 14.000 controles y observó una relación lineal significativa entre la exposición al radón y el riesgo de cáncer de pulmón (un aumento lineal del 16% en el riesgo de cáncer de pulmón por cada 100 Bq/m^3 que aumentaba la exposición al radón residencial). En norteamerica, aunque con una muestra menor, obtuvo resultados similares

Detectores de trazas nucleares

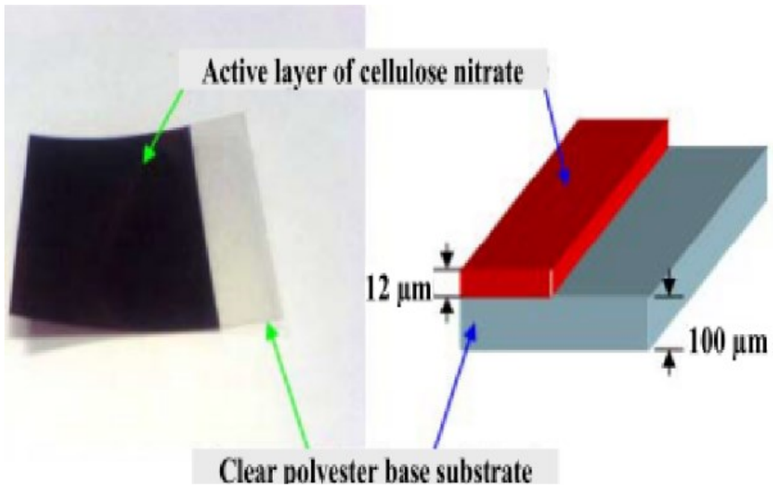
Son materiales capaces de registrar daños en su estructura, producto de la interacción con las partículas ionizantes. Estos daños conocido como “traza nuclear "ocurren cuando las partículas cargadas atraviesan el material



CR-39, "Columbia Resin #39”, TASTRAK

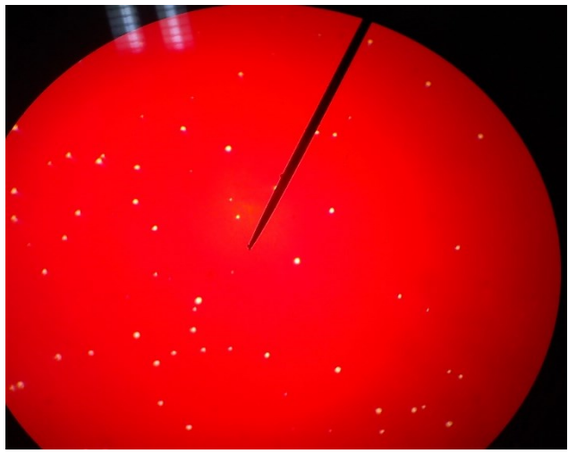
Detecta alfas de 0.3 MeV a 13 MeV
Su sensibilidad a la detección del radón 222 depende de las condiciones de grabado (Fleischer y Walker, 1965; TASTRAK, 2021; OMS, 2015).





Nitrato **de** Celulosa **LR** 115

Sensibilidad a la detección de partículas alfa de energías comprendidas entre [0,8; 4,5] MeV



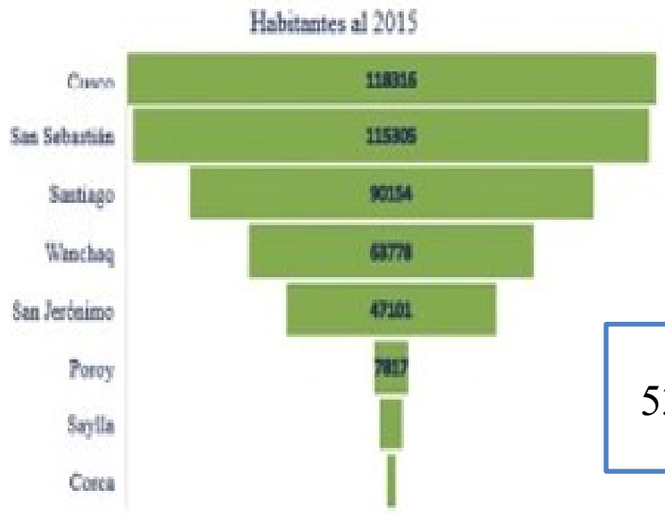
Ámbito de estudio: localización política y geográfica

Ubicación de la ciudad del Cusco y número de habitantes por distrito

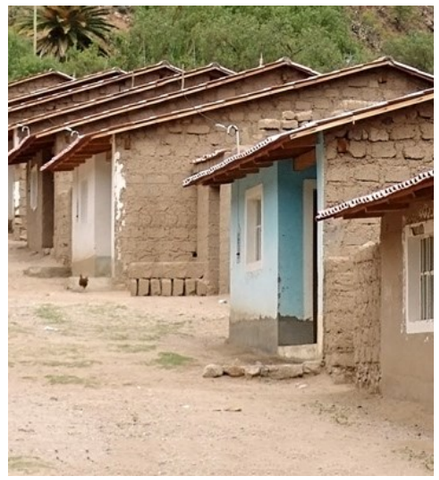
694.5 milibar

719 km²





45,12%



53,9 %



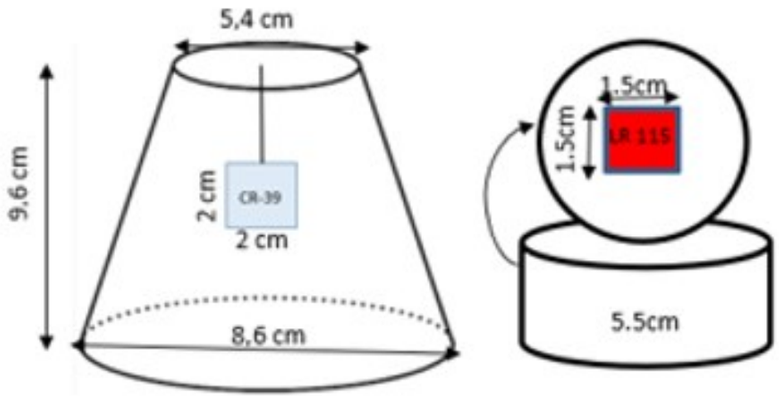
Datos extraídos del INEI (2018)

Método de trazas nucleares en sólidos

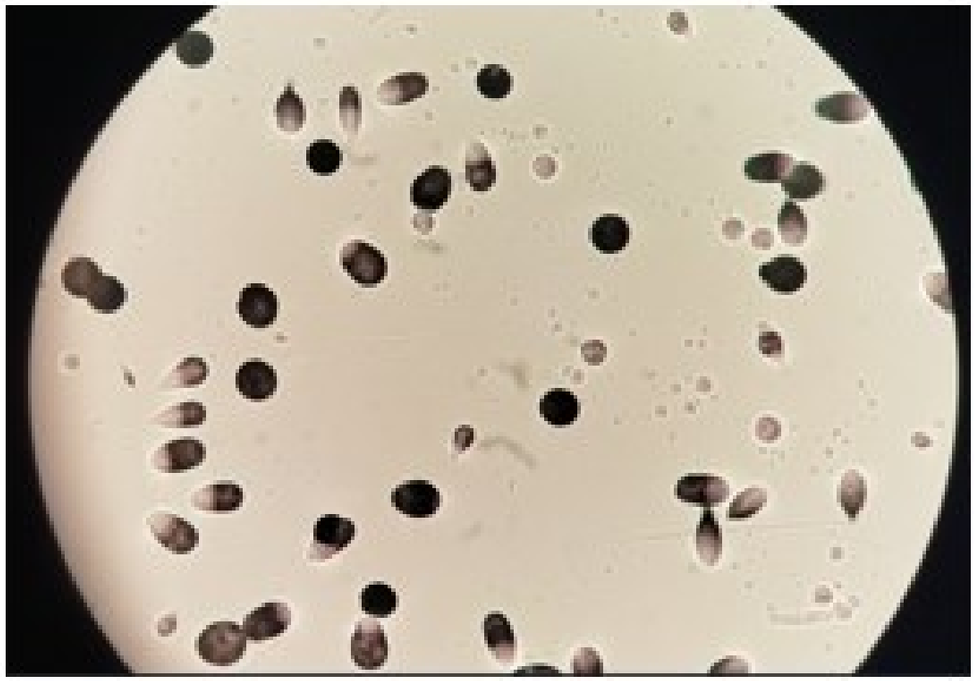
En 1960 Fleischer, Price y Walker, hallaron que las huellas dejadas por la radiación en cristales, vidrios, plásticos y minerales cristalinos, luego de ser sometidas a soluciones químicas corrosivas, fueron químicamente más reactivos que los sitios no dañados, ampliándose sus dimensiones para ser observables bajo un microscopio óptico común.

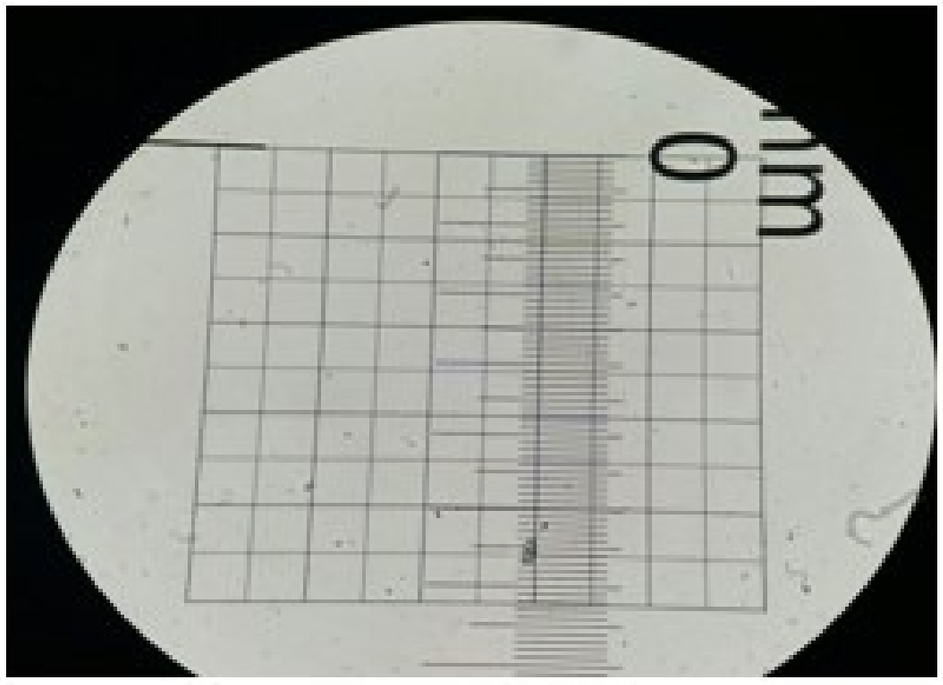
a. Exposición del detector la radiación

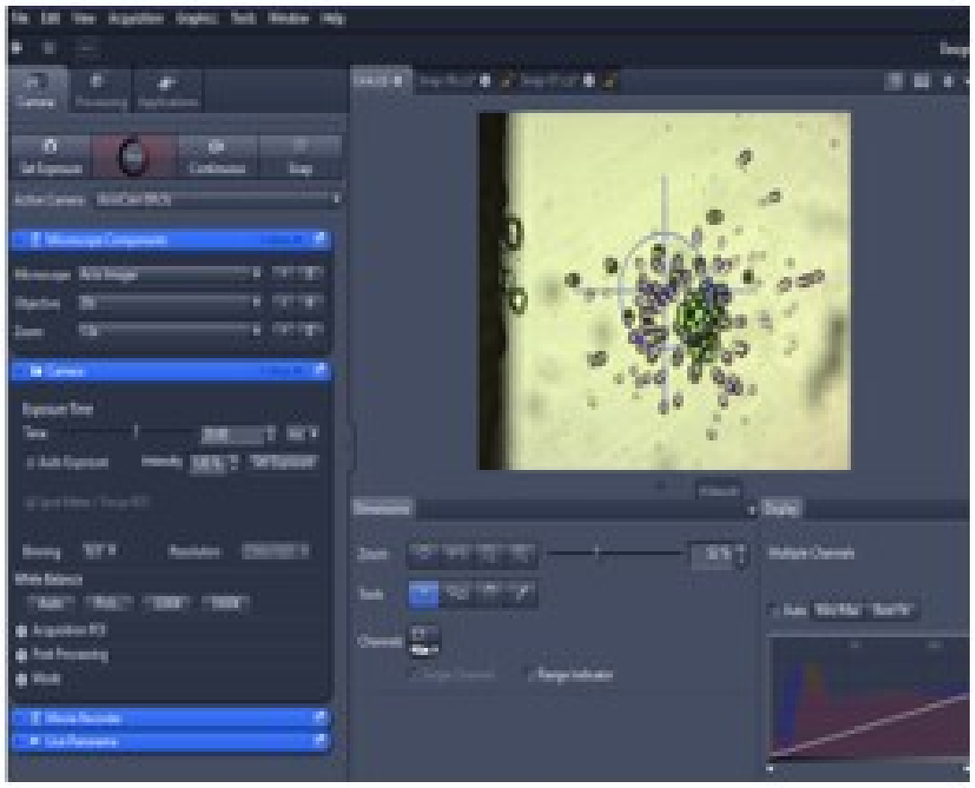


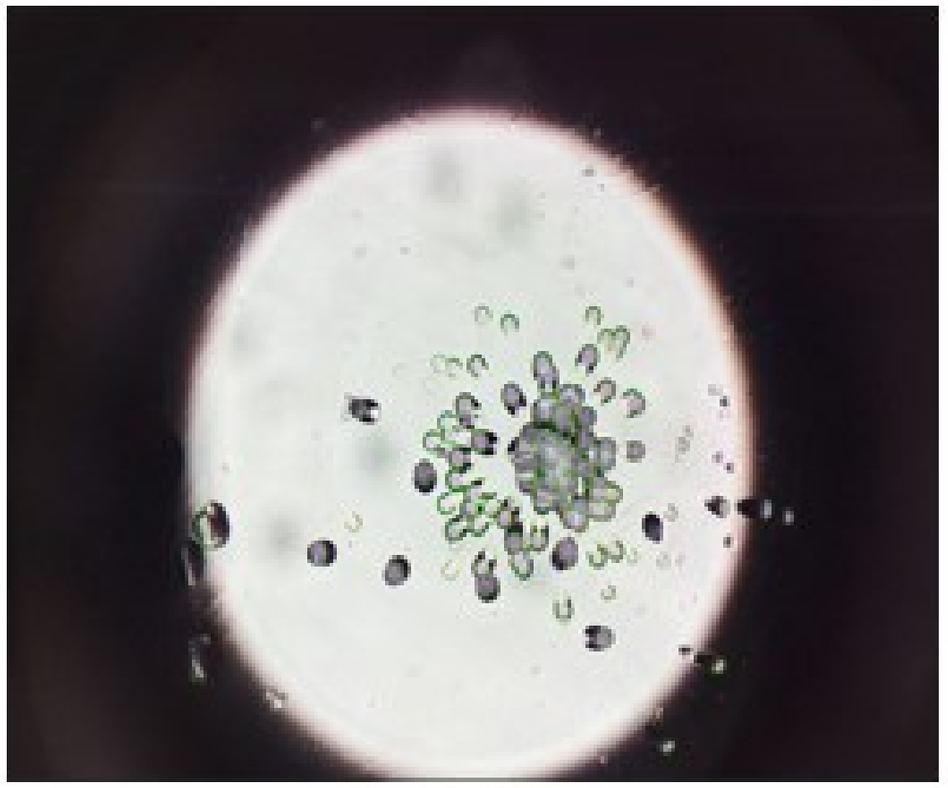


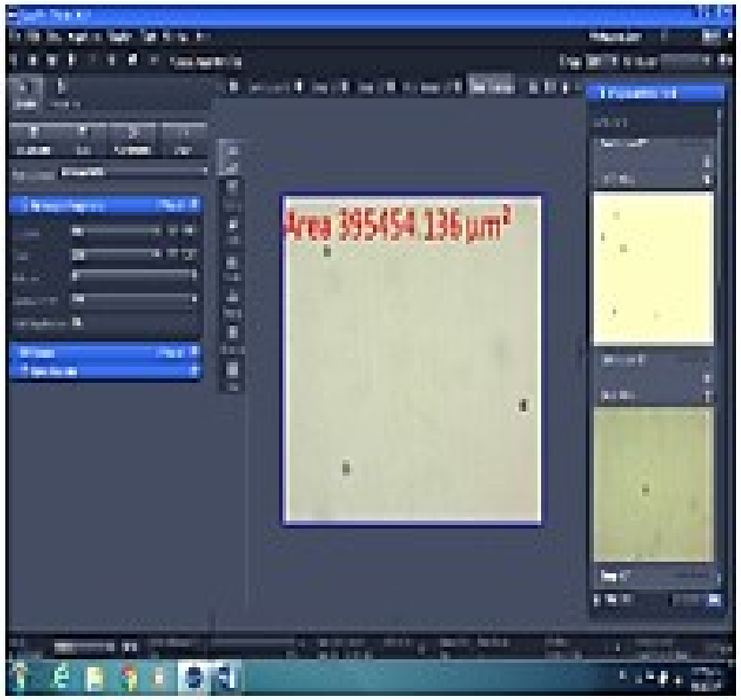


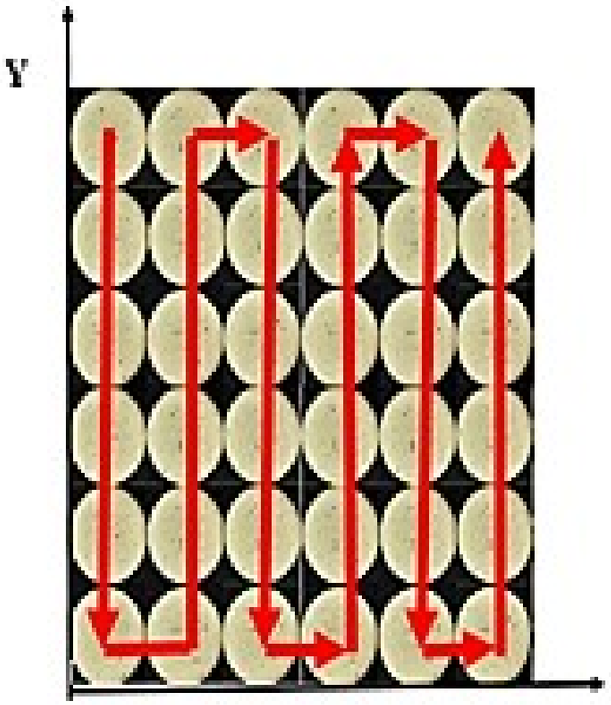


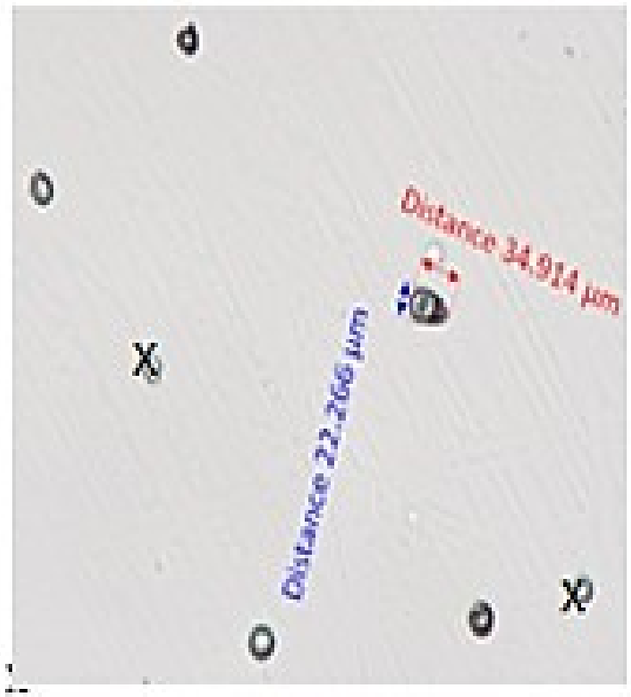

0
m











a) muestra la imagen adquirida por el software Zen Lite de un campo de lectura en el detector que contiene huellas nucleares,

b) muestra el método de exploración de 100 campos de visión en el detector, bajo la lente del microscopio,

c) La foto muestra las huellas de las partículas impresas en el detector.

Cuantificación de trazas reveladas



Concentración de radón

$$C_{\left(\frac{Bq}{m^3}\right)} = \frac{\left(\rho - \rho_f\right)\frac{tr}{cm^2}}{F_{\left(\frac{\frac{tr}{cm^2}}{\frac{Bq}{m^3}h}\right)} \cdot t_{exp_{(h)}}}$$

Donde:

ρ, es la densidad de trazas en el detector

ρ_f, es la densidad de trazas de fondo del detector

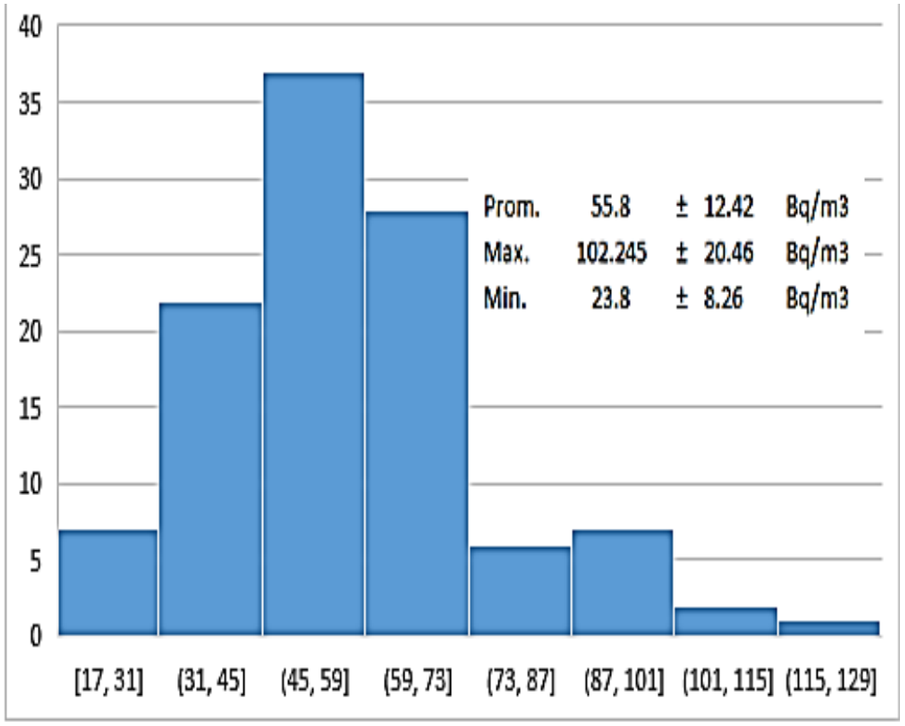
F, es el factor de calibración

t_{exp}, es el tiempo de exposición del detector a la radiación ionizante

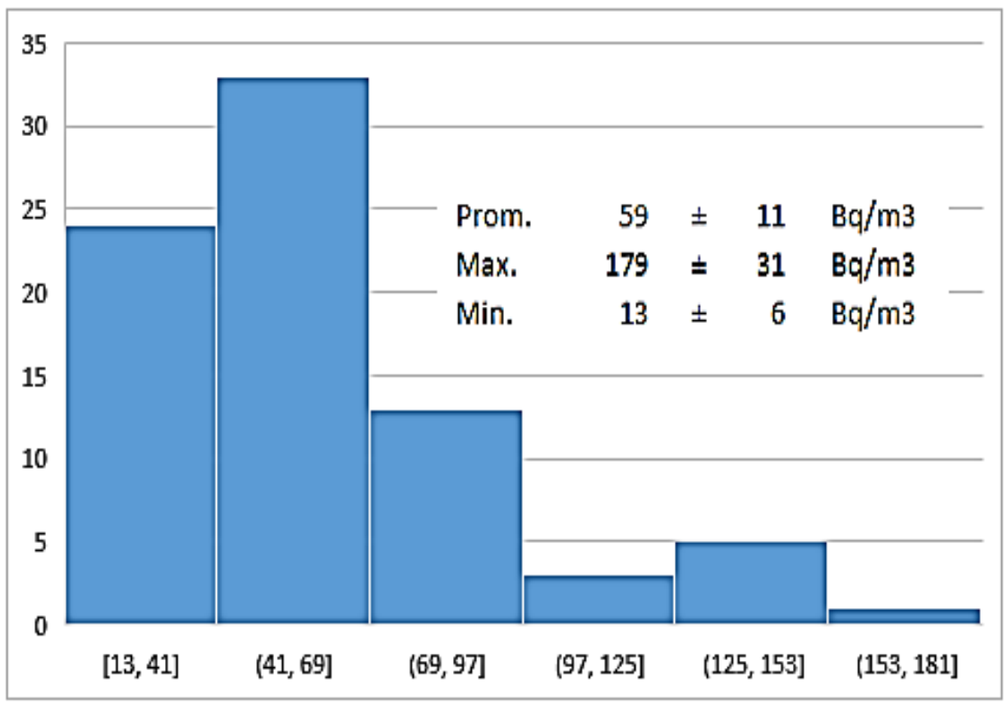
RESULTADOS

Valor medio de la concentración del radón en la ciudad de Cusco

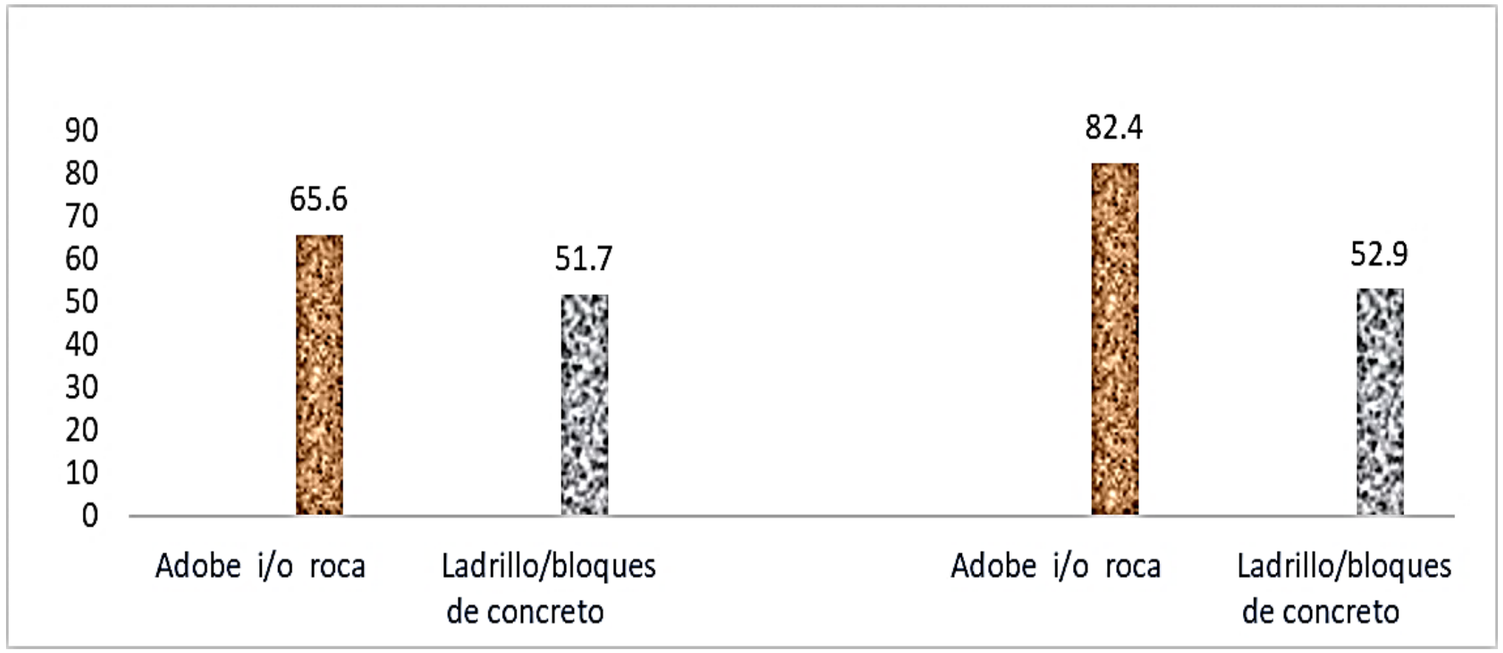
Distribución de C-Rn-222: LR-115



Distribución de C-Rn-222: CR-39



Considerando variación *temporal d*e a concentración de radón (Bq/m3) por tipo de vivienda



época de lluvia

época de seca

GRACIAS

Medidas de la concentración de radón ambiental en viviendas y su impacto sobre la salud humana en la ciudad de Lima Cuzco setiembre 2025

Ing. Jorge Martínez Gastelú
LABORATORIO DE RADIOQUIMICA Y RADON
jmartinez@ipen.gob.pe



INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR - IPEN

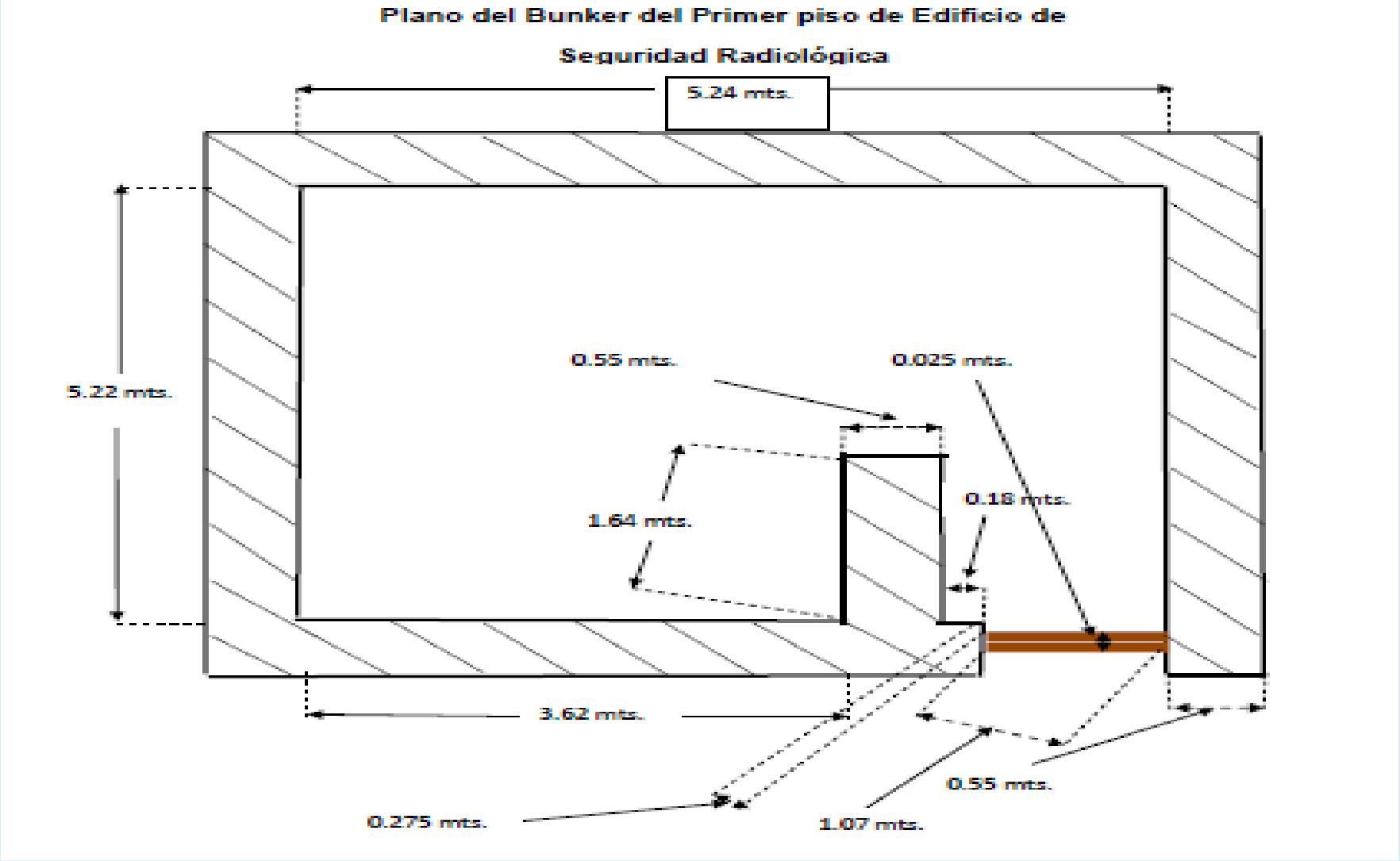
Elementos Radiactivos en Cerámicas y materiales de construcción

Concentraciones (Bq/kg) de radionúclidos naturales		
Material	^{226}Ra	^{232}Th
Hormigón	30 – 250	30 – 200
Ladrillos de arcillas rojas	10 – 200	10 – 200
Ladrillos de arenas arcillosas	10 - 50	10 – 200
Piedras naturales de construcción	10 – 500	10 – 300
Yeso natural	10 – 70	10 – 100
Cemento	10 – 200	10 – 200
Cerámica	30 – 200	20 – 200
Fosfoyeso	100 – 1500	1 – 100
Cenizas de altos hornos	30 - 200	30 - 300

Resultados de los materiales de construcción en la cámara de radón

Materiales	Peso de muestra (g)	densidad real (Kg/m^3)	densidad aparente ($Kg./m^3$)	altura promedio difusión (m)	mitad espesor promedio placa (m)	Concentración promedio Rn-222 Bq/m^3	concentración máxima Rn-222 Bq/m^3
Ladrillo King Kong	1005.00	2667.73	1143.31	0.60	0.05	76.65	123.00
Arena Fina	879.00	2857.14	1428.57	0.60	0.05	749.60	1202.93
Piedra chancada	919.00	2547.50	970.48	0.60	0.05	46.56	74.72
Arena Gruesa	1074.00	2666.93	1333.47	0.60	0.05	374.20	600.50
Ladrillo de techo	812.00	2352.94	1111.11	0.60	0.05	9.80	15.72
King Kong 18 Huecos	799.00	2500.00	1000.00	0.60	0.05	76.65	123.00
Cemento Verde	703.00	1212.18	975.66	0.60	0.05	51.40	82.48
Cemento blanco	709.00	1538.54	869.61	0.60	0.05	33.49	53.74
Yeso cerámico	537.00	1904.95	740.81	0.60	0.05	51.40	82.48

Determinación de la concentración de radón por exhalación de las paredes y suelo del bunker, Centro Nuclear Racso, Lima – Peru. 2021



Determinación de la concentración de radón por exhalación de las paredes y suelo del bunker, Centro Nuclear Racso, Lima – Peru. 2021

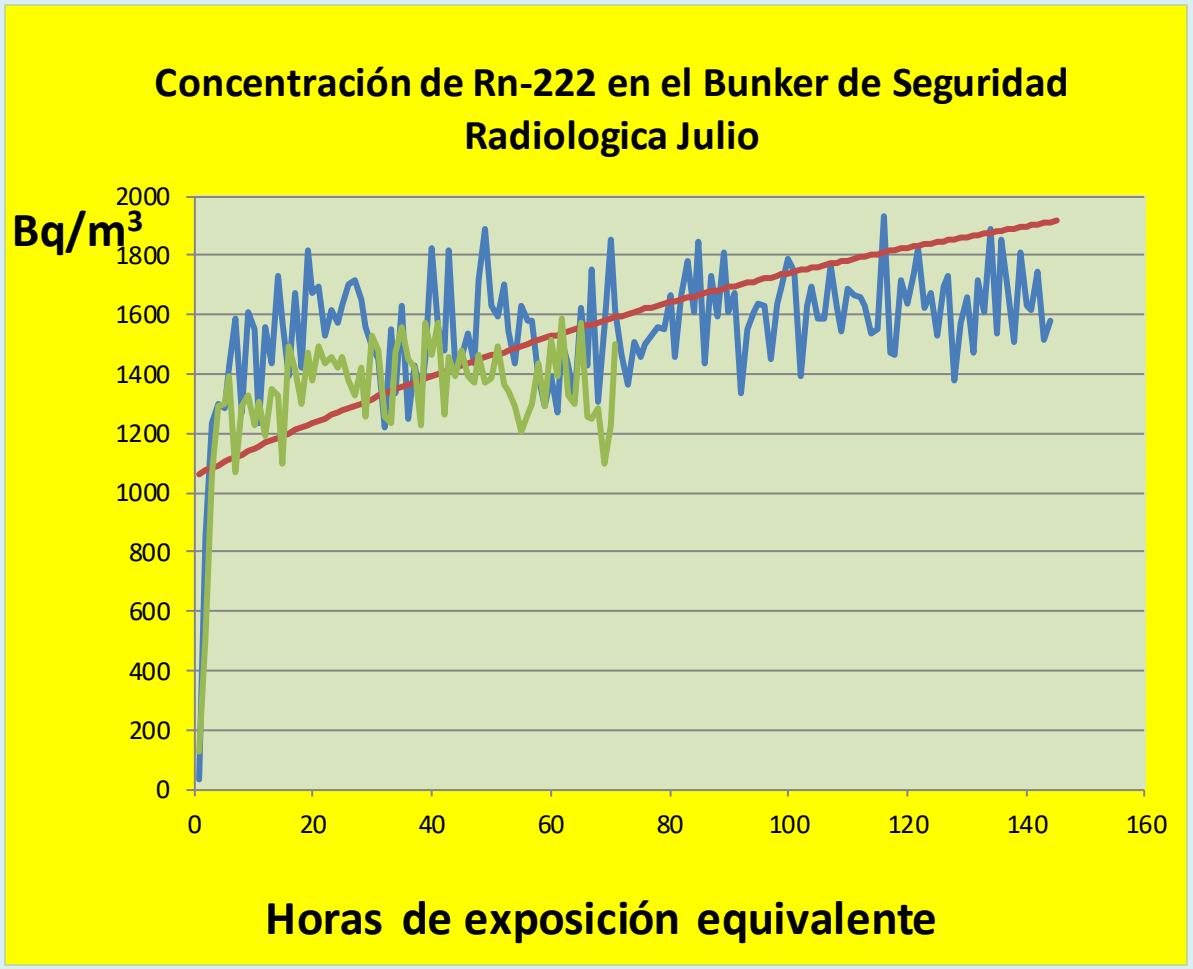


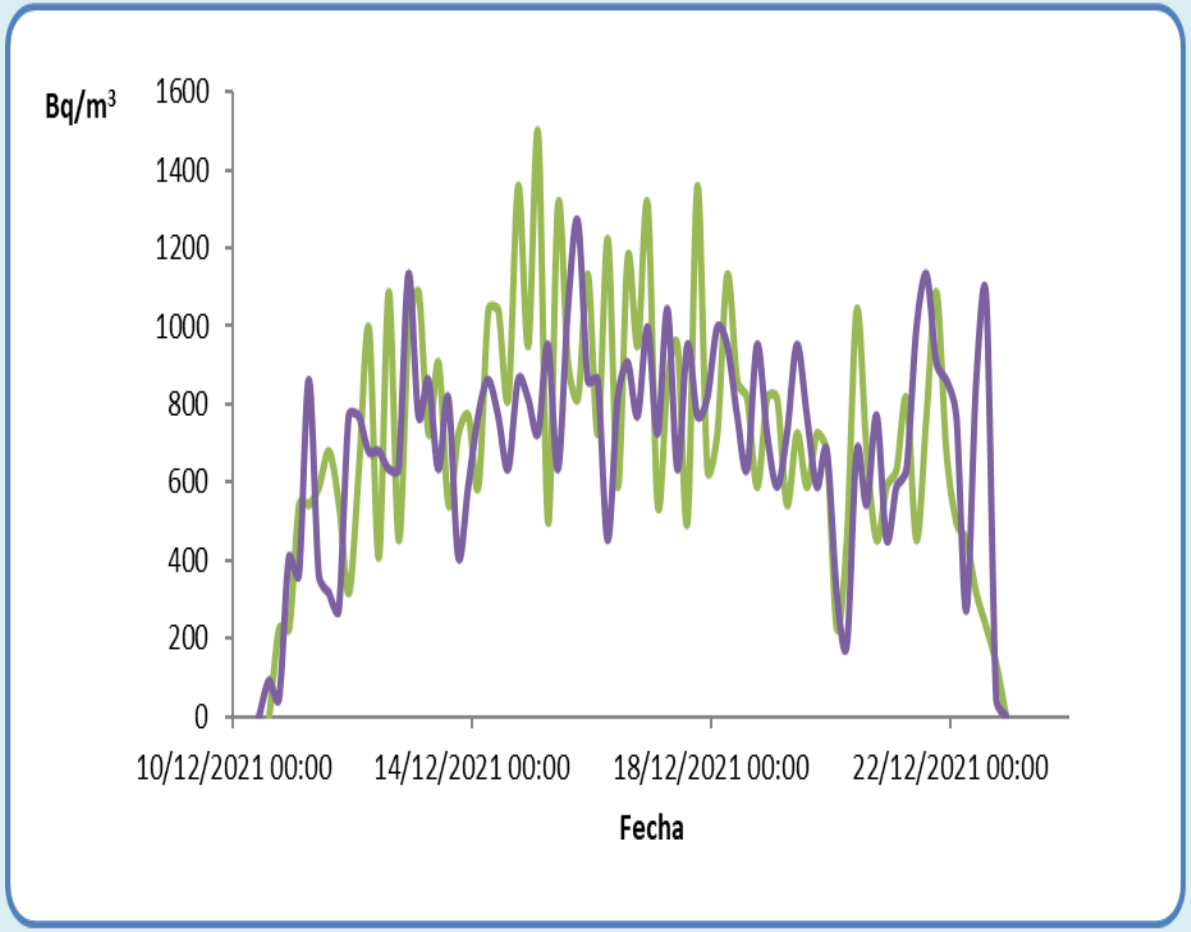
Determinación de la concentración de radón por exhalación de las paredes y suelo del bunker, Centro Nuclear Racso, Lima – Peru. 2021

Tabla Dimensiones Paredes Bunker			
Pared Lotización	*Ancho*	*Area*	
1	*5,22*	*16,32*	*m^2*
2	*5,24*	*16,40*	*m^2*
3	*5,49*	*17,18*	*m^2*
4	*1,64*	*5,13*	*m^2*
5	*0,55*	*1,72*	*m^2*
6	*1,64*	*5,13*	*m^2*
7	*3,62*	*11,33*	*m^2*
8	*0,18*	*0,56*	*m^2*
9	*0,275*	*0,86*	*m^2*
Total		*74,65*	*m^2*

Tabla N°4 Dimensiones Piso Bunker				
Piso Lotización	Ancho	largo	Area	
1	5,22	3,62	18,88	m^2
2	0,55	3,58	1,97	m^2
3	1,07	5,22	5,59	m^2
4	0,275	0,89	0,24	m^2
Area del Piso Total			26,6	m^2
Area del Techo			26,6	m^2

Determinación de la concentración de radón por exhalación de las paredes y suelo del bunker, Centro Nuclear Racso, Lima – Peru. 2021

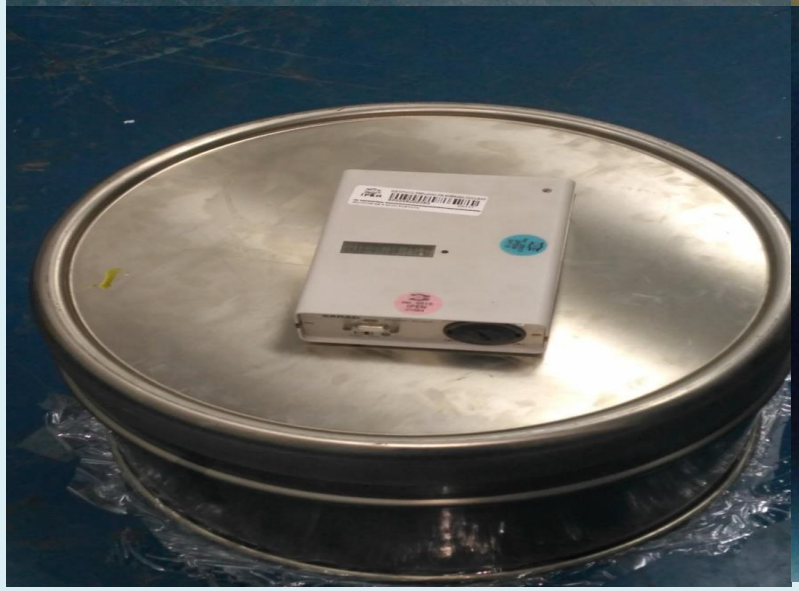




Determinación de la concentración de radón por exhalación de las paredes y suelo del bunker, Centro Nuclear Racso, Lima – Perú. 2021









Mediciones de la exhalación piso del bunker y suelo de Huarangal con un monitor de radón Sarad

Y por huellas nucleares LR-115

.

Determinación de la concentración de radón por exhalación de las paredes y suelo del bunker, Centro Nuclear Racso, Lima – Peru. 2021

Consideraciones tomadas

La exhalación se encuentra con las mediciones con los monitores de radón Sarad.

Área superficial total del bunker	A_s = 128.0058 m^2
Volumen interior del bunker	Vi = 83.5 m^3
Constante de decaimiento	λ_{Rn} = 0.007553585 h^{-1}
	λ_{Rn} = 2.09822E-06 seg^{-1}
Tiempo de medición	T = 248 horas
Área superficial contacto Conteiner de acero	A_s = 0.0047 m^2
Volumen interior del Conteiner de acero	Vi = 0.00792 m^3
Área superficial de contacto Algade	A_s = 0.0000283 m^2
Volumen interior del Dispositivo Algade	Vi = 0.000063 m^3

Determinación de la concentración de radón por exhalación de las paredes y suelo del bunker, Centro Nuclear Racso, Lima – Peru. 2021

Resultados monitor de radon

$E_{Bunker+\ suelo+piso} = 16.556\ Bq/m^2h$

$E_{bunker} = 3.634\ Bq/m^2h$

$E_{Suelo\ de\ Huarangal} = 62.002\ Bq/m^2h$

Resultados huellas nucleares

$E_{Bunker+\ suelo+piso} = 19.7766\ Bq/m^2h$

$E_{bunker} = 4.3513\ Bq/m^2h$

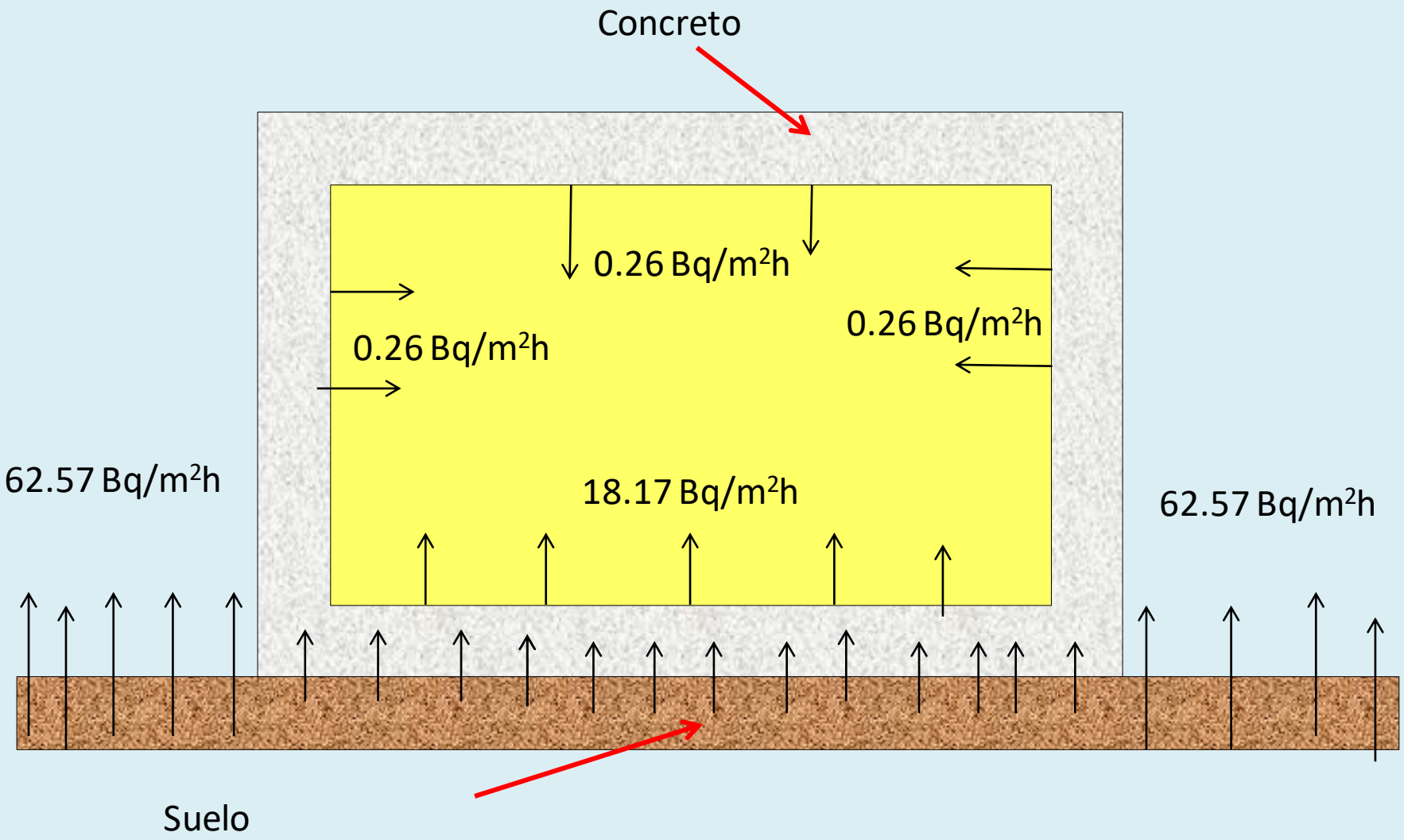
$E_{Suelo\ de\ Huarangal} = 63.120\ Bq/m^2h$

$$E_{Factor\ transferencia\ suelo/piso} = \frac{E_{Bunker\ suelo}}{E_{suelo}} = \frac{17.9055}{62.57144} = 0.28616 = 28.616\%$$

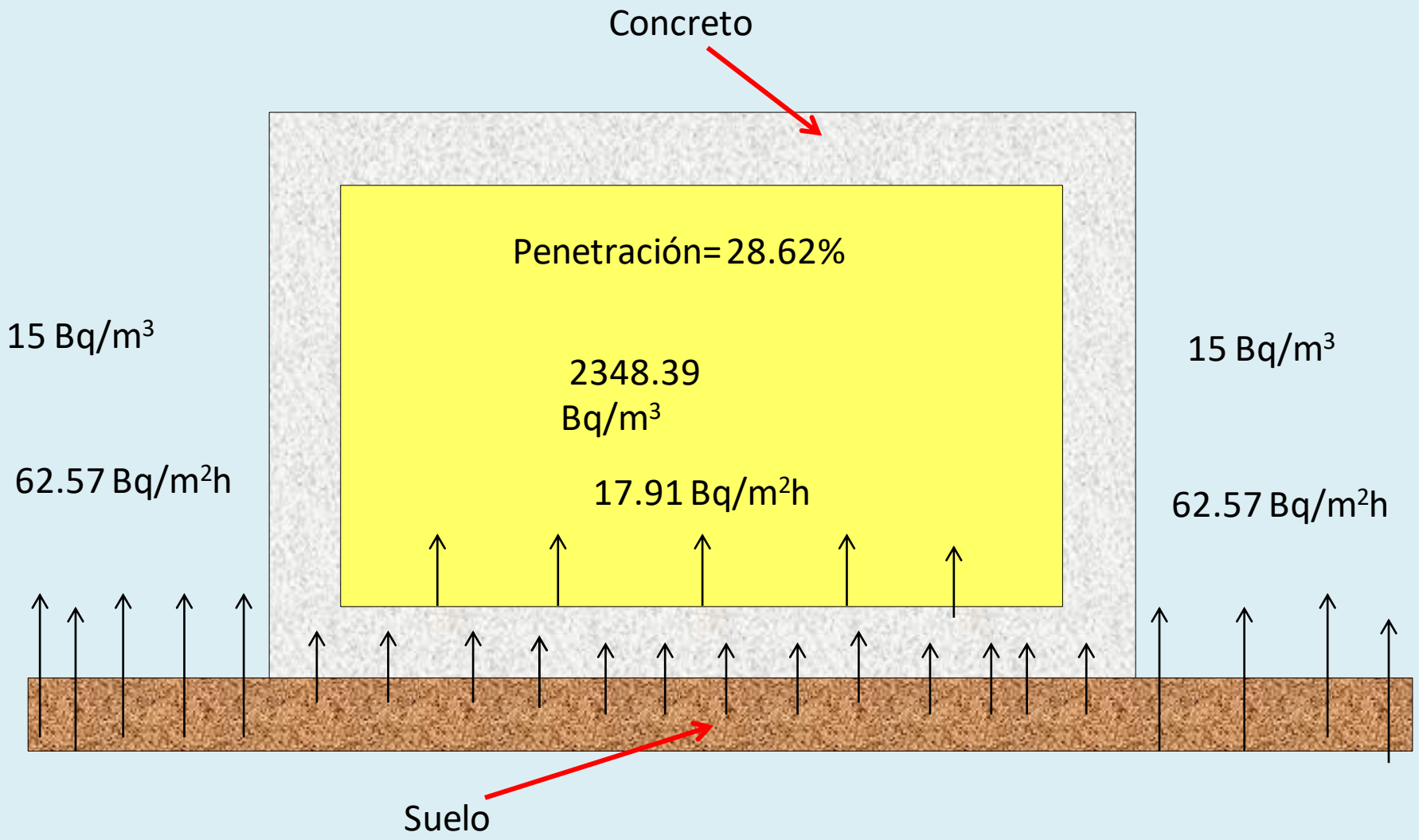
Quiere decir que el 28.616 % del radón que penetra a través del concreto incrementa la concentración del ambiente cerrado.

Esto es diferente para diferente tipos de pisos en ambientes cerrados.

Penetración del radón en el Bunker Centro Nuclear de Huarangal



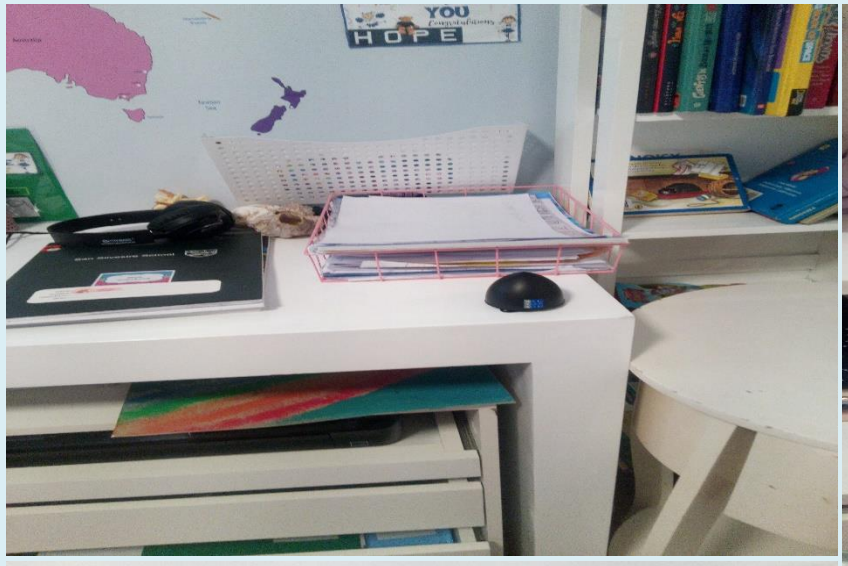
Penetración del radón en el Bunker Centro Nuclear de Huarangal

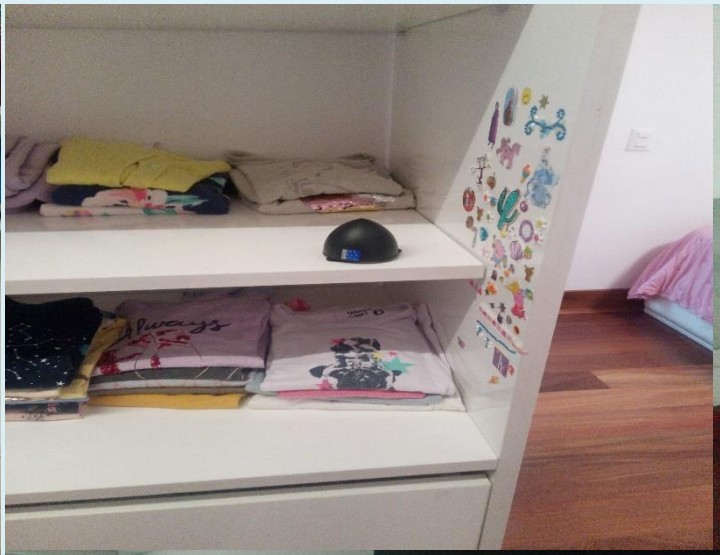


Estimación de la dosis por exposición al radón por el tiempo diario de permanencia dentro de la vivienda considerando una situación de confinamiento (cuarentena) por emergencia sanitaria (SARS COV-2) Miraflores 2020-2021

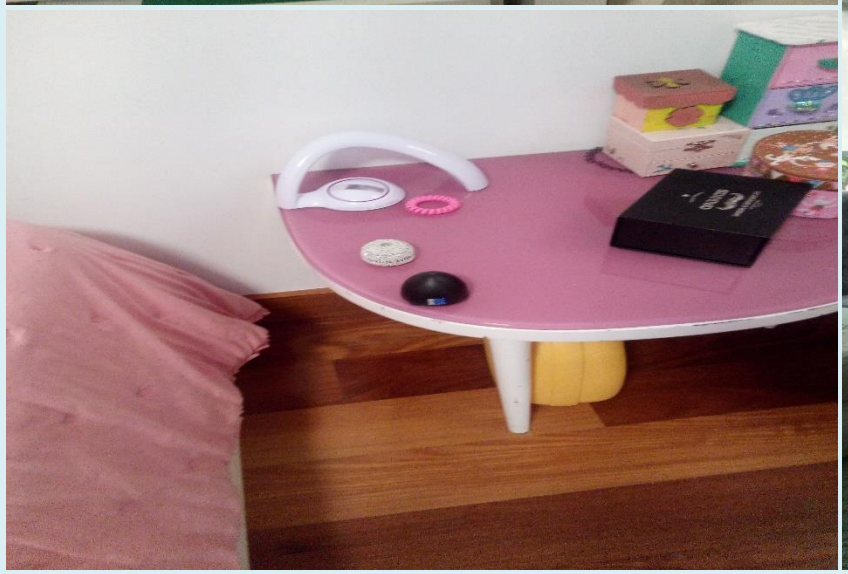
Ubicación	Promedio Horas de trabajo pandemia	Concentración efectiva Bq/m^3	Incertidumbre Bq/m^3	WL	WLM	Dosis msv/año
Cuarto principal	20	23.00	2.71	0.0025	0.0029	0.136
Cuarto niños	10	55.58	6.51	0.0060	0.0035	0.165
escritorio niños	14	88.16	9.22	0.0095	0.0078	0.365
Ubicación	Promedio Horas de trabajo pre pandemia	Concentración efectiva Bq/m^3	Incertidumbre Bq/m^3	WL	WLM	Dosis msv/año
Cuarto principal	14	23.00	2.71	0.0025	0.0020	0.095
Cuarto niños	10	55.58	6.51	0.0060	0.0035	0.165
escritorio niños	3	88.16	9.22	0.0095	0.0017	0.078

Estimación de la dosis por exposición al radón por el tiempo diario de permanencia dentro de la vivienda considerando una situación de confinamiento (cuarentena) por emergencia sanitaria (SARS COV-2) Miraflores 2020-2021

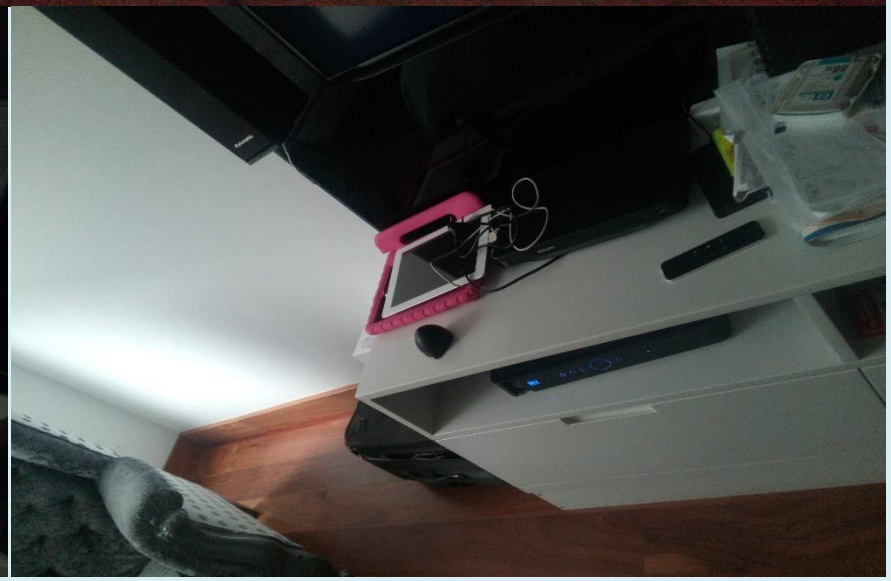




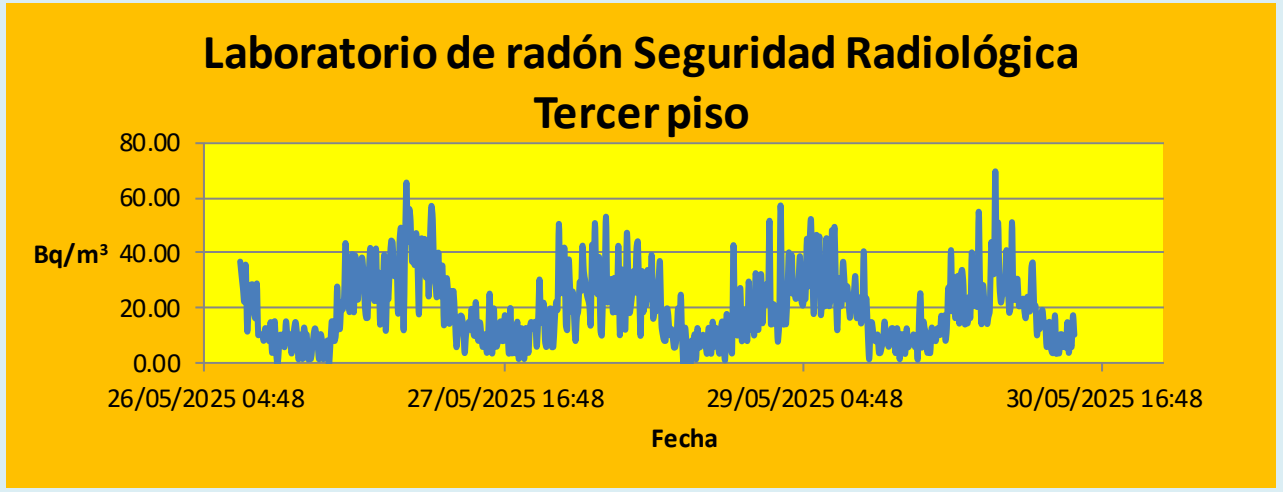


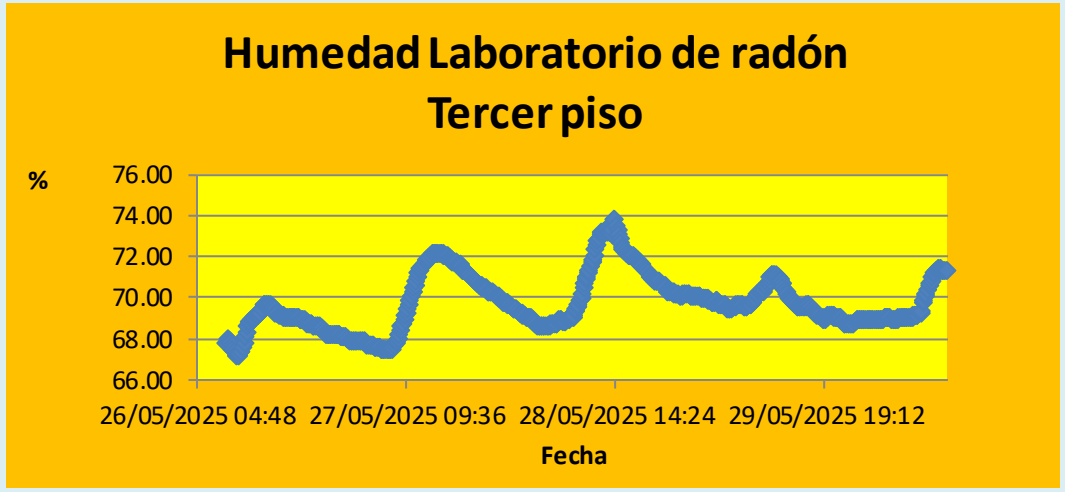


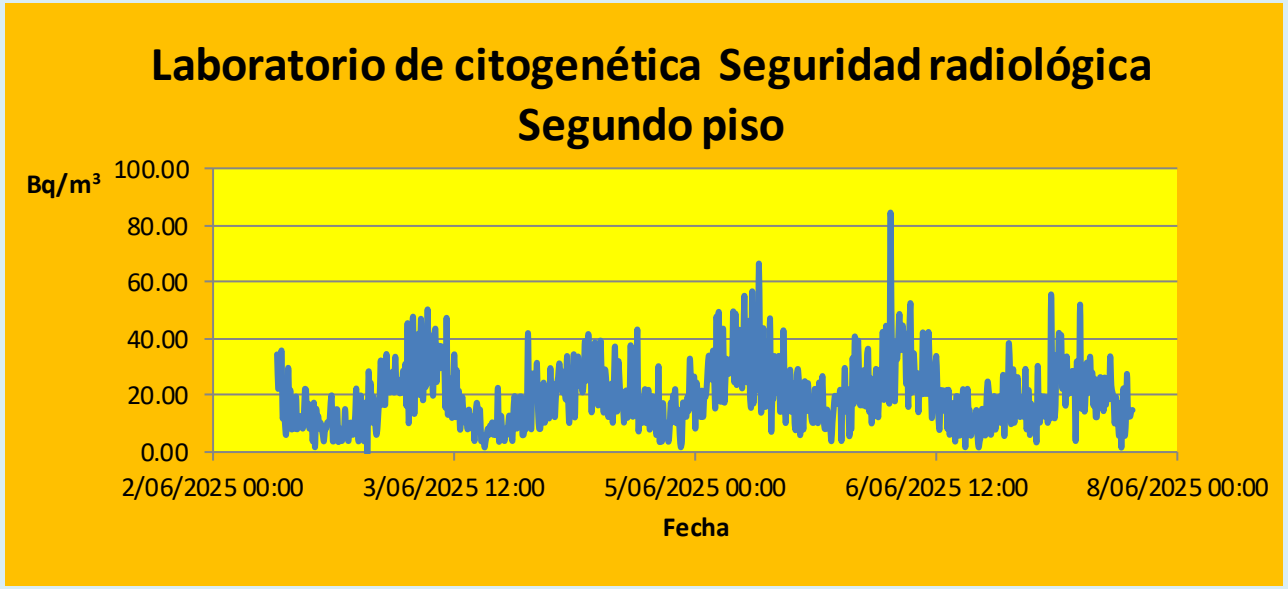


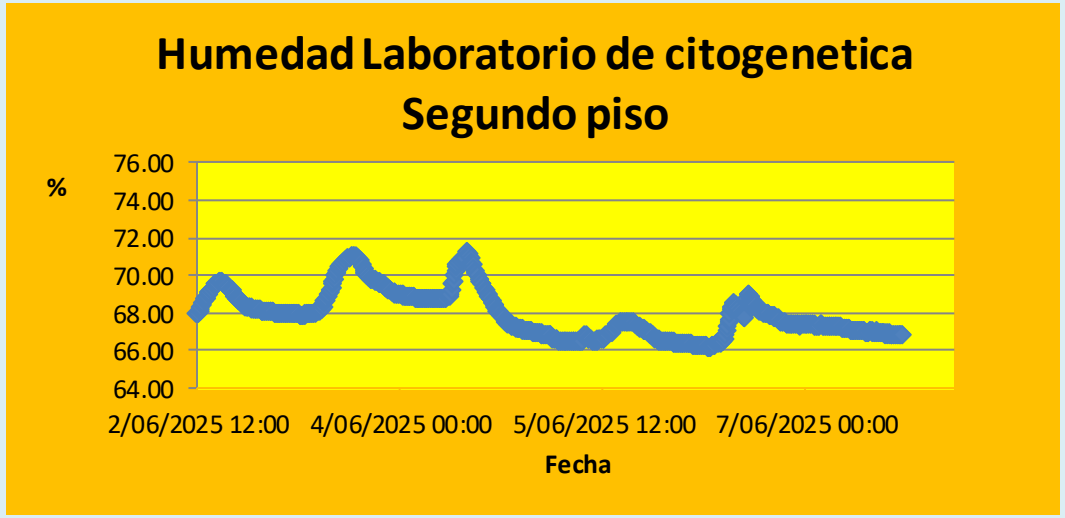


Concentración de Radon-222 en el edificio de seguridad Radiológica 2025









Concentración de Radon-222 en algunos laboratorios de Universidad Nacional Mayor de San Marcos de la facultad de física 2022

Item	Ubicación Sótano facultad de física	Concentración (Bq/m^3)	Horas de trabajo		WL	WLM mínima	WLM máxima	Dosis mínima mSv/año	Dosis máxima mSv/año
			Mínimo 2 h/d	Máximo 8 h/d					
1	Sala de procesamiento de datos	20	2	8	2.16E-03	5.34E-04	2.14E-03	0.033	0.133
2	Sala de procesamiento de datos	22.5	2	8	2.43E-03	6.01E-04	2.40E-03	0.037	0.150
3	Laboratorio de síntesis de Materiales	25	2	8	2.70E-03	6.68E-04	2.67E-03	0.042	0.166
4	Microscopio Electrónico (lado del pasadizo)	15	2	8	1.62E-03	4.01E-04	1.60E-03	0.025	0.100
5	Telar (Ventana grande)	20	2	8	2.16E-03	5.34E-04	2.14E-03	0.033	0.133
6	Laboratorio de Química	7.5	2	8	8.11E-04	2.00E-04	8.01E-04	0.012	0.050
7	Laboratorio de síntesis de Materiales -derecho	15	2	8	1.62E-03	4.01E-04	1.60E-03	0.025	0.100
8	S-9 Lab. Experimental-Laboratorio de QUÍMICA-Entrada	15	2	8	1.62E-03	4.01E-04	1.60E-03	0.025	0.100
9	S-9 Lab. Experimental-Laboratorio de QUÍMICA- Lado de la ventana	10	2	8	1.08E-03	2.67E-04	1.07E-03	0.017	0.067
10	Difracción de Rayos X	20	2	8	2.16E-03	5.34E-04	2.14E-03	0.033	0.133
11	Al lado del equipo Quantum Desing	32.5	2	8	3.51E-03	8.68E-04	3.47E-03	0.054	0.216

Concentración de Radon-222 en el sótano de la Sede Central del Instituto peruano de Energía Nuclear 2023

Mayormente el radón se encuentra en concentraciones más altas en lugares de poca ventilación o sótanos, para ello se escogió el sótano de la sede central del Instituto Peruano de energía Nuclear para la realización de este estudio, del cual servirá de base para otros estudios en otros lugares donde la ventilación y la profundidad del sótano gravitara en la concentración de radón en dicho ambiente.

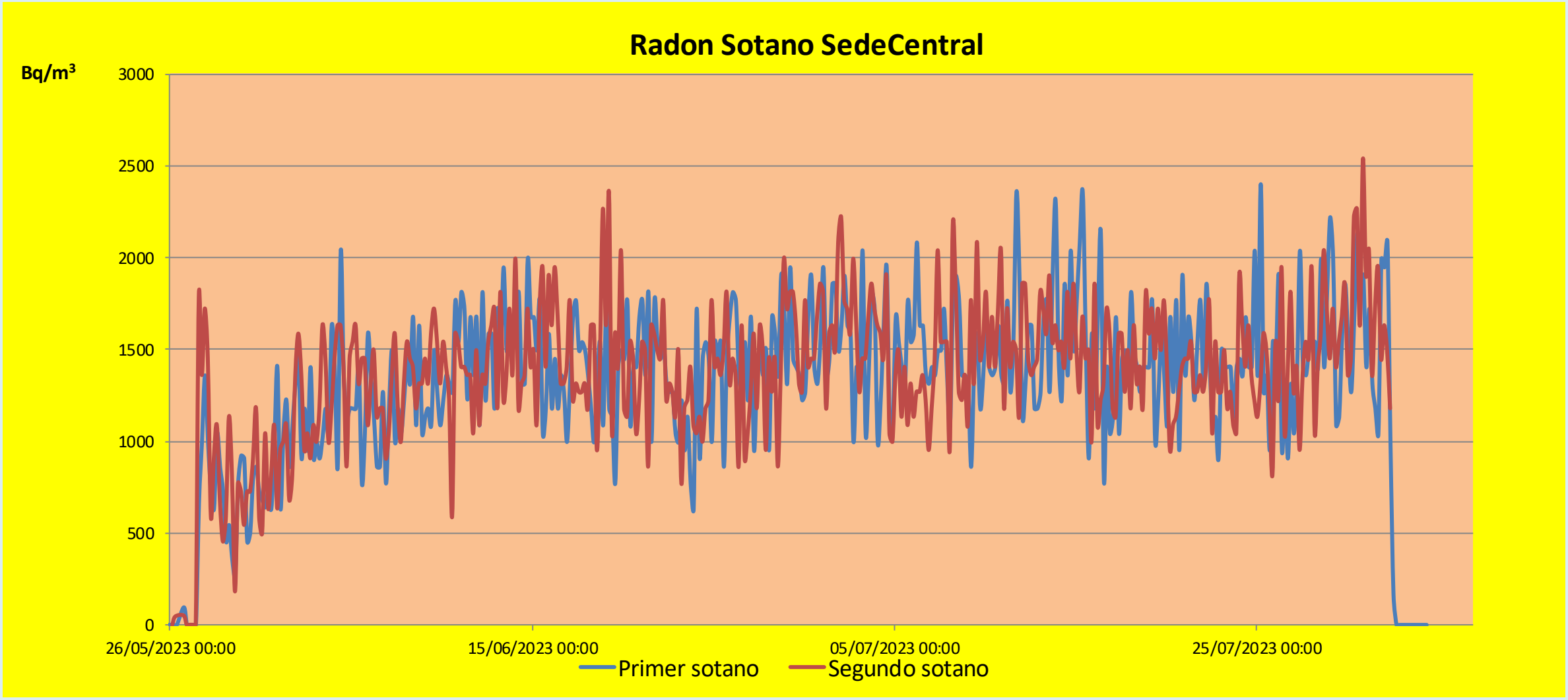
Tener presente lo siguiente

Que el nivel de actuación para la exposición crónica de radón en viviendas es a una concentración media anual de 200 a 600 Bq/m^3 de Rn^{-222} en el aire. Y a su vez el nivel de actuación para una acción reparadora en la exposición crónica a radón en puestos de trabajo es una concentración media anual de 1000 Bq/m^3 de Rn^{-222} en aire. Por lo que es de necesidad realizar la mitigación al respecto con los ambientes estudiado para que pueda ser utilizado.

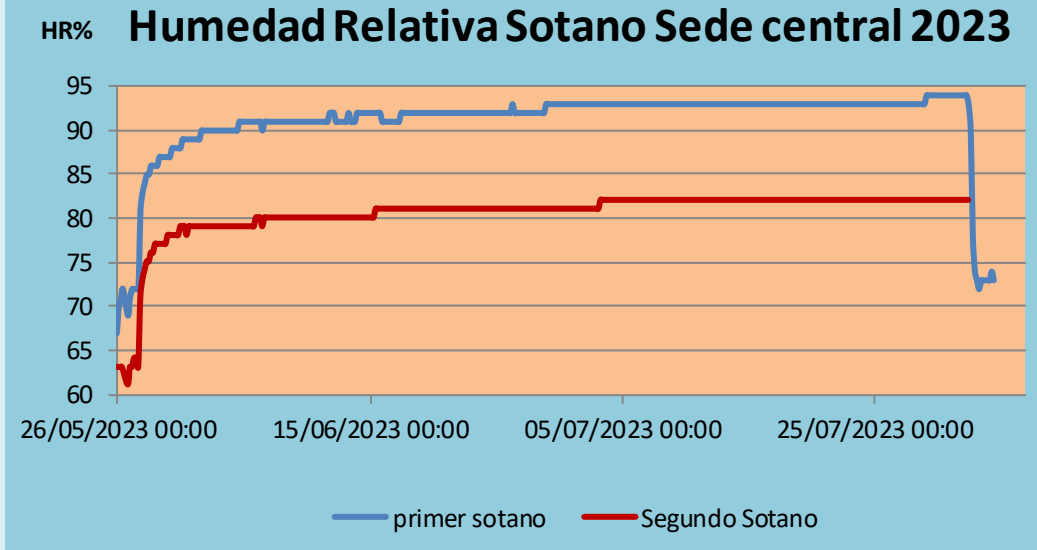
Concentración de Radon-222 en el sótano de la Sede Central del Instituto peruano de Energía Nuclear 2023

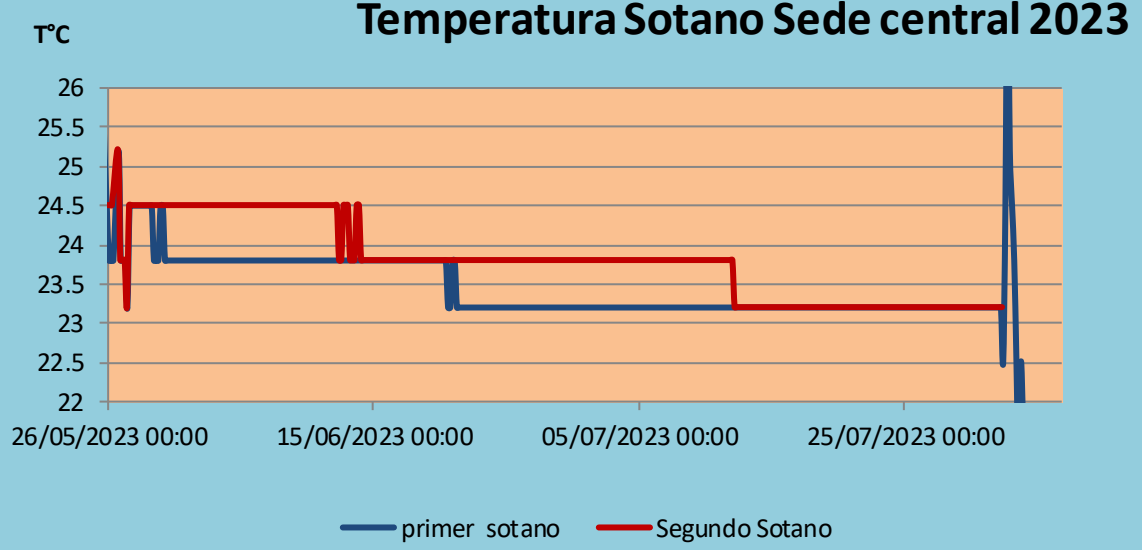


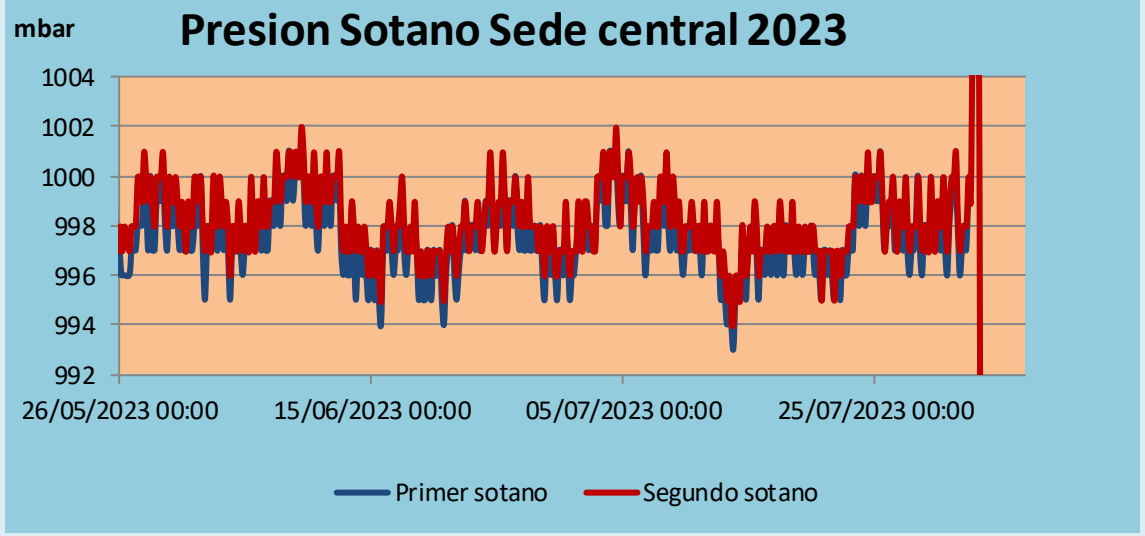
Concentración de Radon-222 en el sótano de la Sede Central del Instituto peruano de Energía Nuclear 2023



Concentración de Radon-222 en el sótano de la Sede Central del Instituto peruano de Energía Nuclear 2023







Concentración de Radon-222 en el sótano de la Sede Central del Instituto peruano de Energía Nuclear 2023

	Concentración promedio Bq/m^3	Error promedio Bq/m^3	Temperatura promedio °C	Humedad relativa promedio %	Presión promedio mbar	Exposición $kBqh/m^3$	Horas exposición h
Primer Sótano	1377.421	18.675	23.445	91.899	998.242	2181.834	1584.00
Segundo sótano	1399.333	18.503	23.792	80.843	997.518	2181.834	1580.00
Promedio general	1388.377	18.589	23.619	86.371	997.880	2181.834	1582.000

Concentración de Radon-222 en el sótano de la Sede Central del Instituto peruano de Energía Nuclear 2023

Tiempo de permanencia en el sótano de sede central IPEN sin ventilar										
Horas por día de trabajo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WLM primer sótano	0.0009	0.0018	0.0026	0.0035	0.0044	0.0053	0.0061	0.0070	0.0079	0.0088
WLM segundo sótano	0.0009	0.0018	0.0027	0.0036	0.0044	0.0053	0.0062	0.0071	0.0080	0.0089
WLM/año primer sótano	0.2312	0.4625	0.6937	0.9250	1.1562	1.3875	1.6187	1.8500	2.0812	2.3125
WLM/año segundo sótano	0.2349	0.4699	0.7048	0.9397	1.1746	1.4096	1.6445	1.8794	2.1143	2.3493
msv/año primer sotano F_D= 5.06 mSv/WLM año	1.1701	2.3402	3.5104	4.6805	5.8506	7.0207	8.1908	9.3610	10.5311	11.7012
msv/año segundo sotano F_D= 5.06 mSv/WLM año	1.1887	2.3775	3.5662	4.7549	5.9437	7.1324	8.3211	9.5099	10.6986	11.8873
msv/año primer sotano F_D= 11 mSv/WLM año	2.5437	5.0875	7.6312	10.1750	12.7187	15.2624	17.8062	20.3499	22.8937	25.4374
msv/año segundo sotano F_D= 5.06 mSv/WLM año	2.5842	5.1684	7.7526	10.3368	12.9210	15.5052	18.0894	20.6736	23.2578	25.8421

Medidas para controlar la exposición del radón del personal ocupacional

- ✓ VENTILACION MECANICA
- ✓ LIMPIEZA DEL AIRE
- ✓ PROTECCION RESPIRATORIA
- ✓ TRABAJO ROTACIONAL
- ✓ MONITORAJE DEL AIRE



Concentración de Radon-222 en el sótano de la Sede Central del Instituto peruano de Energía Nuclear 2023

Tiempo de permanencia en el sótano de sede central IPEN Con ventilación al 80%										
Horas por día de trabajo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WLM primer sótano	0.0002	0.0004	0.0005	0.0007	0.0009	0.0011	0.0012	0.0014	0.0016	0.0018
WLM segundo sótano	0.0002	0.0004	0.0005	0.0007	0.0009	0.0011	0.0012	0.0014	0.0016	0.0018
WLM/año primer sótano	0.0462	0.0925	0.1387	0.1850	0.2312	0.2775	0.3237	0.3700	0.4162	0.4625
WLM/año segundo sótano	0.0470	0.0940	0.1410	0.1879	0.2349	0.2819	0.3289	0.3759	0.4229	0.4699
msv/año primer sótano F_D= 5.06 mSv/WLM año	0.2340	0.4680	0.7021	0.9361	1.1701	1.4041	1.6382	1.8722	2.1062	2.3402
msv/año segundo sótano F_D= 5.06 mSv/WLM año	0.2377	0.4755	0.7132	0.9510	1.1887	1.4265	1.6642	1.9020	2.1397	2.3775
msv/año primer sótano F_D= 11 mSv/WLM año	0.5087	1.0175	1.5262	2.0350	2.5437	3.0525	3.5612	4.0700	4.5787	5.0875
msv/año segundo sotano F_D= 11 mSv/WLM año	0.5168	1.0337	1.5505	2.0674	2.5842	3.1010	3.6179	4.1347	4.6516	5.1684

Problema de aplicación de dosimetría hipotético

Ud. Es el jefe de seguridad radiológica de la compañía minera Cóndor S.A., y para ello instalo en varios ambiente de la mina los monitores de radón LR-115 y CR-39 que ha presumido que existe una cantidad de radón apreciable, necesitamos evaluar la dosis con que trabaja el personal expuesto.

Supongamos la siguiente tabla de permanencia en su puesto de trabajo:

Minera Cóndor S.A. Permanencia en el lugar de trabajo 2025				
Ítem	**Personal**	**Ambiente**	**Concentración Rn-222 Bq/m³**	**Permanencia horas diarias**
1	Juan Salcedo	Sala de control de excavaciones	1600	1.3
		Almacén de herramientas	2480	1.2
		Túnel 246	985	3
		Túnel 346	3500	2
		Túnel 543	4000	0.5
2	Roberto Lamas	Sala de control Eléctrico	2400	1.6
		Almacén de repuestos	3600	2.4
		Túnel 459	1100	1.2
		Túnel 440	870	2.8

Problema de aplicación de dosimetría hipotético

PREGUNTAS

A) Cuál de los dos es el que recibe mayor dosis. Supongamos que ellos trabajan de lunes a sábado, 11 meses al año por un mes de vacaciones?

B) Si la dosis es mayor a lo que debería de ser lo que determina el reglamento de Seguridad Radiológica, para ello disminuyo la cantidad de horas de permanencia en un 50% en los dos ambientes de mayor dosis y esto los agrega en los otros ambientes, ¿Cuál sería la nueva dosis?

C) Si a pesar de esta corrección la dosis sigue mayor de lo que dice el Reglamento de Protección Radiológico, entonces como jefe de seguridad radiológica minera Plantea, como solución que esta persona permanezca un tiempo en la superficie (sala de control de procesos) igual a la suma de los tiempos iguales que le quitaríamos a todos los ambientes. ¿Cuál es ese tiempo?

D) Cual el valor del WLM para todos los casos

Nota: Para todos los casos considerar:

Considerar los meses de 28 días a fin de facilitar los cálculos

La concentración en la superficie es de 50 Bq/m^3

usar como valor dosimétrico 5.06 msv/WLMaño

Radón: medidas para controlar su exposición en mina









Problema de aplicación de dosimetría hipotético

Minera Cóndor S.A. Permanencia en el lugar de trabajo 2015							
Item	**Personal**	**Ambiente**	**Concentración Rn-222 Bq/m^3**	**Permanencia horas diarias**	**Permanencia horas mensuales**	**WL**	**WLM**
1	Juan Salcedo	Sala de control de excavaciones	960	1.3	31.2	0.12973	0.02381
		Almacén de herramientas	4480	1.2	28.8	0.60541	0.10256
		Túnel 246	2500	3	72	0.33784	0.14308
		Tunel 346	3500	2	48	0.47297	0.13355
		Tunel 543	988	0.5	12	0.13351	0.00942
		TOTAL WLM					0.41243
		Dosis mensual msv					2.08688
		Dosis Anual msv					22.95564
2	Roberto Lamas	Sala de control Electrico	2400	1.6	38.4	0.32432	0.07326
		Almacen de repuestos	3600	2.4	57.6	0.48649	0.16483
		Tunel 459	3800	1.2	28.8	0.51351	0.08700
		Tunel 440	1520	2.8	67.2	0.20541	0.08120
		TOTAL WLM					0.40628
		Dosis mensual msv					2.05579
		Dosis Anual msv					22.61371

Problema de aplicación de dosimetría hipotético

Minera Cóndor S.A. Permanencia en el lugar de trabajo 2025							
Ítem	**Personal**	**Ambiente**	**Concentración Rn-222 Bq/m³**	**Permanencia horas diarias**	**Permanencia horas mensuales**	**WL**	**WLM**
1	Juan Salcedo	Sala de control de excavaciones	960	2.1	50.4	0.12973	0.03846
		Almacén de herramientas	4480	2	48	0.60541	0.17094
		Túnel 246	2500	1.5	36	0.33784	0.07154
		Túnel 346	3500	1	24	0.47297	0.06677
		Túnel 543	988	1.4	33.6	0.13351	0.02639
		TOTAL WLM					0.37410
		Dosis mensual msv					1.89296
		Dosis Anual msv					20.82254
2	Roberto Lamas	Sala de control Eléctrico	2400	2.5	60	0.32432	0.11447
		Almacén de repuestos	3600	1.2	28.8	0.48649	0.08242
		Túnel 459	3800	0.6	14.4	0.51351	0.04350
		Túnel 440	1520	3.7	88.8	0.20541	0.10729
		TOTAL WLM					0.34768
		Dosis mensual msv					1.75924
		Dosis Anual msv					19.35163

Problema de aplicación de dosimetría hipotético

Minera Cóndor S.A. Permanencia en el lugar de trabajo 2025							
Ítem	**Personal**	**Ambiente**	**Concentración Rn-222 Bq/m³**	**Permanencia horas diarias**	**Permanencia horas mensuales**	**WL**	**WLM**
1	Juan Salcedo	Sala de control de excavaciones	960	2.04	48.9	0.12973	0.03730
		Almacén de herramientas	4480	1.94	46.5	0.60541	0.16550
		Túnel 246	2500	1.44	34.5	0.33784	0.06851
		Túnel 346	3500	0.94	22.5	0.47297	0.06253
		Túnel 543	988	1.34	32.1	0.13351	0.02519
		TOTAL WLM					0.35902
		Dosis mensual msv					1.81665
		Dosis Anual msv					19.9831
2	Roberto Lamas	Sala de control Eléctrico	2400	2.5	60.0	0.32432	0.11447
		Almacén de repuestos	3600	1.2	28.8	0.48649	0.08242
		Túnel 459	3800	0.6	14.4	0.51351	0.04350
		Túnel 440	1520	3.7	88.8	0.20541	0.10729
		TOTAL WLM					0.34768
		Dosis mensual msv					1.75924
		Dosis Anual msv					19.3516

Problema de aplicación de dosimetría hipotético

Ítem	Personal	WLM 1 caso	WLM 2 caso	WLM 3 caso
1	Juan Salcedo	0.37806	0.34292	0.32910
2	Roberto Lamas	0.37243	0.31870	0.31870

Ítem	Personal	mSv/a 1 caso	mSv/a 2 caso	mSv/a 3 caso
1	Juan Salcedo	22.95564	20.82253	19.98311
2	Roberto Lamas	22.61371	19.35163	19.35162

Categorización de aéreas para el Radón (Rn-^{222}) en un ambiente cerrado

Nivel	Concentración Bq/m^3	Observaciones
Nivel 1	< 300	No requiere control
Nivel 2	300 - 1000	Ver si se puede reducir la concentración de Radón Área libre acceso para trabajadores ocupacionales y limitado para el publico
Nivel 3	1000 – 1500	Ver reducción de radón Área controlada, solo trabajadores ocupacionales
Nivel 4	> 1500	Área no permitida alta concentración de radón

Categorización de Áreas con fuentes radiactivas

Nivel	Dosis (msv/a)	Observaciones
Nivel 1	< 6	No requiere control
Nivel 2	6 – 20	Ver si se puede reducir la dosis , requiere controles simples
Nivel 3	20 – 50	Nivel controlado, puede ser necesario establecer zonas controladas
Nivel 4	> 50	No permitido, ver reducción de dosis si excede el limite no debe permitirse

Exposición de trabajadores en una mina subterránea no uranífera

Working Level	Análisis de Concentración de Rn_{-222} del área	Acciones a tomar
WL<0.1	Realizar las mediciones de concentración de radón promedio una vez al año	No realizar ninguna medida
0.1<WL<0.3	Realizar las mediciones de concentración de radón promedio Cada tres meses	Tomar medidas para disminuir la concentración de radón en los trabajadores a niveles menores de 0.1 WL
WL>0.3	Realizar las mediciones de concentración de radón promedio semanalmente durante 5 semanas	Tomar medidas correctivas para disminuir la concentración de radón a nivel menores que 0.3 de WL. Calcular el WLM para cada trabajador

REGLAMENTO DE SEGURIDAD RADIOLOGICA PERU
LIMITES DE DOSIS

1. Las dosis de los trabajadores expuestos ocupacionalmente deben limitarse de modo que no excedan:
   a) 20 mSv de dosis efectiva en un año, como promedio, en un período de 5 años consecutivos,
   b) 50 mSv de dosis efectiva en un año, siempre que no sobrepase 100 mSv en 5 años consecutivos,
   c) 150 mSv de dosis equivalente en un año, en el cristalino,
   d) 500 mSv de dosis equivalente en un año, para la piel y extremidades.
2. Para aprendices de 16 a 18 años en situación de capacitación para trabajar con radiaciones, y de estudiantes de 16 a 18 años que utilicen radiaciones en el curso de su formación, los límites de dosis son:
   a) una dosis efectiva de 6 mSv en un año,
   b) una dosis equivalente al cristalino de 50 mSv en un año,
   c) una dosis equivalente a las extremidades o piel de 150 mSv en un año
3. La exposición al público como consecuencia de las prácticas no debe exceder de:
   a) una dosis efectiva de 1 mSv por año,
   b) una dosis equivalente en cristalino de 15 mSv por año,
   c) una dosis equivalente a la piel de 50 mSv por año.
4. La exposición de personas que prestan asistencia voluntaria a pacientes, no como parte de su empleo u ocupación, debe restringirse de modo que sea improbable que su dosis exceda 5 mSv durante el período que abarque el examen diagnóstico o tratamiento de cada paciente.

RADON EN VIVIENDAS Y PUESTOS DE TRABAJO

1- El nivel de actuación para la exposición crónica de radón en viviendas es una concentración media anual de 200 a 600 Bq/m^3 de Rn-^{222} en el aire.
2. El nivel de actuación para una acción reparadora en la exposición crónica a radón en puestos de trabajo es una concentración media anual de 1000 Bq/m^3 de Rn-^{222} en aire.

Conclusión

- Se estima que la concentración de radón natural promedio (fondo natural) en nuestro país está en el rango de 15 a 50 Bq/m^3.
- El nivel de actuación para la exposición crónica al radón en viviendas tiene un valor de concentración media anual de 200 a 600 Bq/m^3 de ^{222}Rn en el aire (Reglamento de Seguridad Radiológica D.S. N° 009-97-EM).
- La exposición al público no debe producir una dosis efectiva mayor de 1 mSv por año, (Reglamento de Seguridad Radiológica D.S. N° 009-97-EM).
- Es posible muchos sótano de garajes de edificios o Instituciones Publicas o privadas no ventilados podrían registrar valores por encima de los 1000 Bq/m^3, lo cual la dosis de radiación o posibles canceres al pulmón podrían aumentar, pero los que tendríamos que preocuparnos mas sobre el personal ocupacionalmente expuesto en dichos ambientes (vigilantes, personal administrativo que trabaja en sótanos , personal de limpieza etc.)

GRACIAS

email: jmartinez@ipen.gob.pe



INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR - IPEN