

**“Detección de radón 222
contaminante ambiental,
usando la técnica de huellas nucleares”**

María Elena López Herrera
Prof. Principal-Sección Física-PUCP
mlopez@pucp.edu.pe

RESUMEN

- El radón 222 es un gas radioactivo, existe como fuente de contaminación natural al emitir partículas alfa a temperaturas ambiente.
- Se le considera como un indicador de la presencia de otros contaminantes naturales radiactivos como son el uranio y el radio, al encontrarse dentro de sus cadenas de decaimiento.
- Al gas radón se le relaciona con la incidencia de algunos tipos de cáncer según la concentración presente en las viviendas o en los ambientes de trabajo.
- En el Perú se han desarrollado algunas mediciones de este contaminante natural, particularmente en la ciudad de Lima, actualmente hay un creciente interés en realizar mediciones en otras ciudades del país.
- Su estudio en zonas urbanas por métodos ya implementados en la PUCP es de importancia para varios sectores, como el sector salud o para la implementación de un plan de normas de seguridad en construcción, especialmente teniendo en cuenta el tema de los materiales de construcción, ventilación de los ambientes, etc.

¿Qué es el radón 222 ?

- El **radón** es un elemento perteneciente al grupo de los gases nobles, en la tabla periódica tiene el número **86** y su símbolo es **Rn**. Su masa media es de 222: **Rn 222**
 - En su fase **gaseosa** es incoloro, inodoro e insípido, en forma sólida su color **es rojizo**.
 - Punto de fluidez : -71°C (-96°F)
 - Punto de ebullición : -61.7°C (-79.1°F)
 - Densidad : 0.00973 g/cm³
 - A temperatura ambiente : **Gas**
 - Tipo de gas : **Gas noble**
 - Actividad : **Radioactivo**
-

¿De donde proviene el Rn 222?

- El **radón** proviene de varios decaimientos radiactivos en la naturaleza. El **radón** tiene varios isótopos.
- Como elemento radiactivo, el **Rn 222** es producto de la desintegración del radio ($^{226}\text{Ra}_{88}$), antecesor altamente radiactivo, así como del torio (Th_{90}) de donde viene el nombre de uno de sus isótopos, torón, de vida media de 55 segundos y de número másico 220 (**Rn 220**).
- El isótopo **Rn 219** es producto de la desintegración del actinio, llamado actinón y tiene una vida media de 4 segundos.
- Además de todos éstos, el **radón** tiene 22 isótopos **artificiales**, producidos por reacciones nucleares por transmutación artificial en ciclotrones y aceleradores lineales.
- El isótopo más estable es el **Rn 222**, también el más abundante, con una vida media de 3,8 días. Al emitir partículas alfa, se convierte en un isótopo del elemento polonio (**Po 218**).

El gas **Rn 222** se produce por la desintegración radioactiva natural del uranio y sus sucesores presente en las rocas y el subsuelo.

Símbolo	Elemento	Radiación	Vida Media	Producto sucesor
U-238	Uranio-238	alfa	4460 000 000 años	Th-234
Th-234	Torio-234	beta	24,1 días	Pa-234
Pa-234	Proactinio-234	beta	1,17 minutos	U-234
U-234	Uranio-234	alfa	247.000 años	Th-230
Th-230	Torio-230	alfa	80.000 años	Ra-226
Ra-226	Radio-226	alfa	1.602 años	Rn-222
Rn-222	Radón-222	alfa	3,82 días	Po-218
Po-218	Polonio-218	alfa	3,05 minutos	Pb-214
Pb-214	Plomo-214	beta	27 minutos	Bi-214
Bi-214	Bismuto-214	beta	19,7 minutos	4 Po-214
Po-214	Polonio-214	alfa	1 microsegundo	Pb-210
Pb-210	Plomo-210	beta	22,3 años	Bi-210
Bi-210	Bismuto-210	beta	5,01 días	Po-210
Po-210	Polonio-210	alfa	138,4 días	Pb-206
Pb-206	Plomo-206	ninguno	stable estable	(Ninguno)

Fuente: <http://www.health.state.ny.us/environmental/radiological/radon/chain.htm>

¿ Porqué es el **Rn 222** es un contaminante **ambiental**?

- Es un **gas** radiactivo que no tiene color ni olor que cuando decae emite partículas alfa, y de acuerdo a su cadena de decaimiento sus sucesores también emiten partículas alfa y radiación, entonces principalmente es una fuente de alfas.

Rn 222

$t_{1/2} = 3,824 \text{ d}$

Energía
 $\alpha = 5,590 \text{ MEV}$

Decae en
 ^{218}Po

¿ Porqué es el Rn 222 es un contaminante ambiental?

- Al ser gas se mezcla fácilmente con el aire.
- En general, el radón se mueve hacia arriba, a través del piso y del subsuelo, hasta el aire que se respira.
- El vínculo entre una prolongada exposición al gas radón y el riesgo de incidencia de cáncer de pulmón o estomacal, hace importante la labor de ubicar las zonas con altos niveles de Rn 222, es un aspecto importante en la salud pública.

Rn 222 está presente siempre en el medio ambiente

Según la Organización Mundial de la Salud (<http://www.who.int/es/>):

- “Por lo común, las concentraciones de radón al aire libre son muy bajas; por término medio, varían de 0,04 a 0,12 pCi/l (de 5 a 15Bq). Por el contrario, en interiores las concentraciones son más altas y alcanzan el punto más elevado en lugares como minas, cuevas y plantas de tratamiento de aguas”.

1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq = 37 GBq

pCi/l = 0,037 Bq

1Bq = 1d.p.s

Rn 222 está presente siempre en el medio ambiente

- Pero en nuestras casas, colegios, hospitales, oficinas, fábricas, etc. también podemos encontrar concentraciones de radón que, aunque menores proporciones que en cuevas y sótanos, también pueden causar efectos dañinos en nuestra salud a largo plazo.
- El nivel promedio del radón interior se estima que es de alrededor de 1.3 pCi/L.
- Un nivel de radón por < 4 pCi/L representa riesgo todavía.
- Se debe considerar solucionar el problema de radón si los niveles están entre 2 y 4 pCi/L.

¿Cómo se detecta y se mide la presencia del Rn 222?

- El gas radiactivo Rn 222 cuando decae emite partículas alfa, y de acuerdo a su cadena de decaimiento sus sucesores también emiten partículas alfa y radiación, entonces es una fuente de alfas.

- Las partículas alfa formadas por dos protones y dos neutrones, se produce como producto de la desintegración de átomos de elementos pesados como el uranio y su descendencia.
 - Una vez fuera del átomo, la radiación alfa no puede recorrer mucha distancia (más que un par de centímetros en el aire) por la masa que poseen, y su poder de penetración es bajo, se encuentra que no puede atravesar una hoja de papel, ni la epidermis. Pero si disipan una gran energía en un recorrido pequeño (del orden de micrones).
-

Pero entonces, ¿dónde está el peligro?

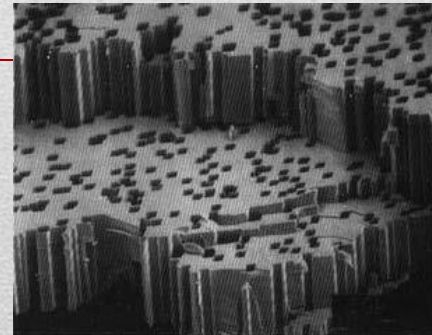
- Si se introduce en el cuerpo una sustancia emisora de radiación alfa, como el gas radón en los pulmones o otros órganos, ésta libera toda su energía hacia las células de los tejidos, que ya no tienen epidermis que les proteja, produciendo daños en muchos casos, de manera irreversible, y aumentando las posibilidades de padecer cáncer de pulmón u otros con el paso del tiempo. (Los trabajadores mineros son los más afectados)

(<http://www.cancer.gov/espanol/recursos/hojas-informativas/riesgo-causas/radon>)

Detección de $Rn\ 222$ usando la técnica de huellas nucleares.

- Entre las técnicas de datación sobresalieron los métodos que permitían determinar la edad de los minerales. Se basan en el recuento de las huellas producidas en sus cristales como consecuencia de la fisión natural de isótopos como el uranio y el torio.
- Cuando se fisionan los átomos de estos elementos, los fragmentos resultantes dejan huellas en la estructura cristalina del material circundante. La evaluación de la densidad de estas huellas permite determinar *el contenido original* de uranio o de torio y establecer la edad de la muestra.

Perfiles de las huellas ocasionadas por ^{84}Kr -ions de 2380 MeV en una matriz cristalina de una mica Muscovite usada como detector de huellas (track detector).



Detección de partículas alfa provenientes del Rn 222 usando la técnica de huellas nucleares.

- Junto a estas trazas, se encuentran también, la presencia de otras huellas como consecuencia de la desintegración normal de estos elementos que corresponden a las partículas alfa.
- Cuando el núcleo del átomo emite una partícula alfa, ese núcleo retrocede de manera análoga a como retrocede un arma de fuego al ser disparada, y el átomo de retroceso produce también huellas nucleares.
- Gracias a ese descubrimiento fue posible aumentar en unas 3 000 veces la sensibilidad de los métodos de datación, e incluso tal vez fijar la edad de una muestra que sólo contenga una parte por millón de uranio.

Técnica de huellas nucleares

- Estas técnicas ideadas por los científicos nucleares se aplican a la datación radiactiva y los métodos de recuento de bajas actividades o bajas dosis recibidas o absorbidas (técnicas de huellas nucleares) permiten obtener información sobre meteoritos, rocas, objetos arqueológicos, atolones coralinos, cerámicas antiguas, carbones, etc.

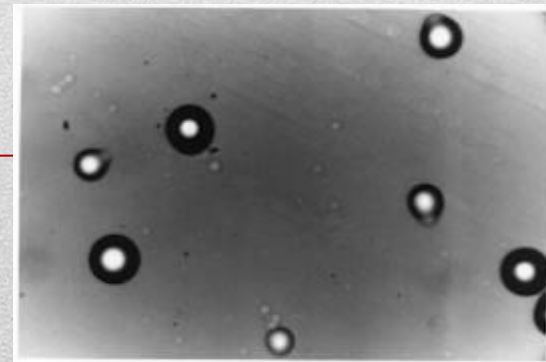
Detectores de huellas nucleares

- Los detectores que permiten a los investigadores observar las **trazas o huellas** que deja a su paso una partícula de origen nuclear se denominan **detectores de trazas**.
 - Entre los detectores **de trazas** destacan los detectores de trazas nucleares de estado sólido (SSNTD Solid Sensor Nuclear Track Detector) que son dispositivos pasivos (integradores) que permiten la detección de partículas cargadas (alfas, iones, fragmentos de fisión, etc.).
 - Existen varios tipos de estos detectores incluyendo **los cristales inorgánicos, vidrios y polímeros**.
-

Detectores de trazas nucleares (DTN)

- Se busca que los DTN den información sobre la cantidad de partículas que llegan a una determinada superficie en un determinado tiempo.
- Y que permitan incluso la discriminación de las trazas en tamaños y excentricidades, lo que da información de la energía y masa de las partículas y de la distribución angular de la radiación incidente.
- Algunas de las aplicaciones de esta técnica se encuentran en dosimetría, estudio de reacciones nucleares, detección de radón, radiografía con neutrones, etc.

DTN CR 39



Polímeros como detectores de trazas nucleares (DTN)

DTN	CN	PC	PET	CR-39
Composición	$C_6H_8O_9N_2$	$C_{16}H_{14}O_3$	$C_{10}H_8O_4$	$C_{12}H_{18}O_7$
Densidad (g/cm³)	1.33 - 1.60	1.20	1.39	1.30
Espesor	100 - 1000 μm	75-250 μm	100-200 μm	500 μm
Uniformidad	Buena	Buena	Buena	Buena
Visibilidad de la superficie	Lisa, fondo bastante alto	Lisa, fondo bajo	Lisa, fondo bajo	Lisa, fondo moderado
Baño químico	NaOH aq. Sol.	NaOH aq. Sol.	NaOH aq. Sol.	NaOH aq. Sol.

CN = Cellulose nitrate

PC = Polycarbonate

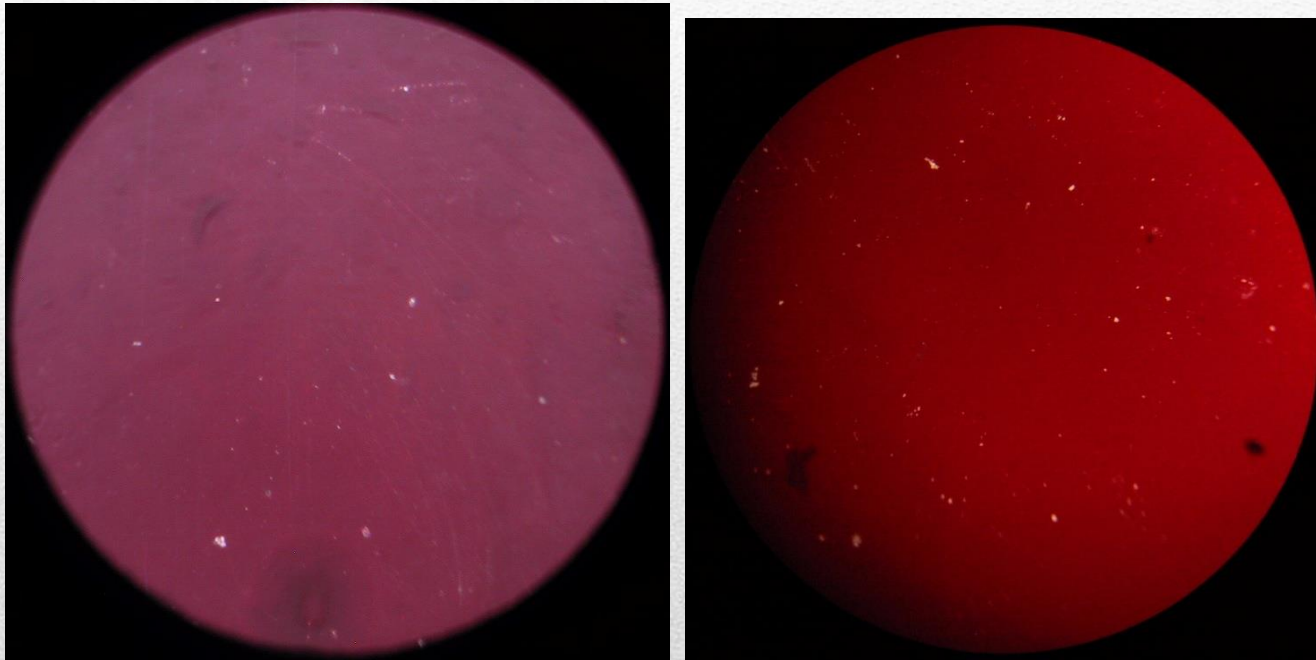
PET = Polyethylene terphthalate

CR-39 = Allyl diglycol carbonate

Polímeros: detectores de trazas nucleares (DTN)

DTN	Umbral de sensibilidad	Observaciones
Inorgánicos	15 MeV/mg.cm ²	
Lexan, Makrofol etc.	4 MeV/mg.cm ²	
CN (Cellulose Nitrate)	1 MeV/mg.cm ²	Sensible a temperatura ambiente
CR-39	< 0.05 MeV/mg.cm ²	~ 100 veces más sensible que los policarbotanos plásticos como el Lexan
SR-86 (Es un CR-39 que contiene vinculados algunos sulfonatos)		Tres veces más sensible que el CR-39 para alfas iones de alta energía.

Polímero LR-115 : detector de trazas nucleares (DTN)



Fotografías obtenidas con microscopio óptico 20 X y 50X
Laboratorio de Física Experimental-PUCP

Detección de partículas alfa provenientes del Rn 222 usando polímeros como DTN

Investigación en la PUCP:

- Caracterización de los detectores de celulosas nitradas LR-115 (marca Kodak*)[1].
- Calibración del detector LR-115 [2].
- Implementación de la técnica de huellas nucleares en la medición de Rn 222. [3].
- Medición de Rn 222 en ambientes interiores [3], [4].
- Medición de Rn 222 en ambientes exteriores [5], [6] y [7].
- Medición de Rn 222 proveniente del subsuelo [8].

* <http://www.chemindustry.com/chemicals/05047656.html>

Investigación en la PUCP:

- [1] Pereyra, P.E.1990, "*Aplicaciones de la Técnica de Huellas Nucleares en dosimetría de partículas alfa*", (Tesis bachiller).
 - [2] Pereyra, P.E, López H, M.E.", 1995, "Calibración de detectores plásticos de nitrocelulosa", Libro de resumen de III congreso Regional sobre Seguridad Radiológica y Nuclear IRPA, CUZCO.
 - [3] Pereyra Anaya, Patrizia Edel, 1999, "*Monitoreo de radón gas en ambientes interiores*". (Tesis Licenciatura).
 - [4] Pereyra Anaya, Patrizia Edel, 2013 "*Monitoreo de radón gas en ambientes interiores en la ciudad de Lima*" (Tesis Maestría en proceso).
-

Investigación en la PUCP:

- [5] Canoba, A1., López, F.O1., Arnaud, M.I1., Oliveira, A.A1.; Neman, R.S2., Hadler, J.C2., Iunes, P.J2., Paulo, S.R2. Osorio, A.M3., Aparecido, R3., Rodríguez, C3.; Espinosa, G4., Golzarri, J.I4.; Martínez, T.5, Navarrete, M.5, Cabrera, L5. Segovia, N.6, Peña, P.6, Taméz, E.6; **Pereyra, P7., López-Herrera, M.E7.**; Sajo-Bohus, L8. " INDOOR RADON MEASUREMENTS AND METHODOLOGIES ON LATIN AMERICAN COUNTRIES "

1 Autoridad Reguladora Nuclear. Av. Libertadores 8250. Buenos Aires, ARGENTINA.

2 Instituto de Física, UNICAMP, 13083-970, Campinas, SP, BRAZIL.

3 Universidad Estadual Paulista, Sao Pablo. BRAZIL.

4 Instituto de Física, UNAM. Apdo. Postal 20-364. 01000, México, D.F., MEXICO.

5 Facultad de Química, UNAM. Edificio D, Ciudad Universitaria, México, D.F. MEXICO.

6 ININ. Apdo. Postal 18-1027, 11801 México, D.F., MEXICO.

7 Pontificia Universidad Católica de Perú. Apdo. Postal 1761, Lima 100, PERU.

8 Universidad Simón Bolívar. P.O. Box 89000, Caracas, VENEZUELA.

Rew. Radiation Measurements. 34, 483 (2001).

Investigación en la PUCP

- [6] Pérez, B. 2013. “Detección de *radón gas ambiental*”, en la PUCP” (*Tesis Licenciatura en proceso*).
 - [7] Dávila, A. 2013. “Detección de *radón gas ambiental en Huancayo*” (*Tesis Maestría, en proceso*).
 - [8] Vilcapoma, L. 2000. “Detección de *radón gas proveniente del subsuelo*”, en la PUCP” (*Tesis Maestría inconclusa*).
 - Otros:
Presentaciones en congresos nacionales e internacionales.
-