

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**“ESTUDIO EXPLORATORIO INTRADOMICILIARIO DE
CONTAMINACIÓN POR GAS RADÓN USANDO PRUEBAS CORTAS”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA**

PRESENTA

Noé Salvador Ruiz Ortiz

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Marco Antonio Reyna Carranza

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

ABRIL DE 2006.

AGRADECIMIENTOS

A Dios; por permitirme estar aquí, y dejarme contribuir con un granito de arena en el inmenso mar del conocimiento.

A la Universidad Autónoma de Baja California (U.A.B.C.); por formar e impulsar a hombres y mujeres en el servicio de nuestro país, México; que necesita gente comprometida con el trabajo y la honestidad.

Al Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora; por apostar a mi desarrollo y que a su vez pueda transmitir los conocimientos a nuevas generaciones.

Al Dr. Marco Antonio Reyna Carranza; por su invaluable apoyo y consejos a lo largo de la elaboración de esta tesis.

A los Profesores del Instituto, que asumen la responsabilidad y la actitud más noble del ser humano, enseñar lo que se sabe.

DEDICATORIA

A mi padre†.....

Quien fue un hombre de campo, trabajador y sencillo, que vive en mi mente y corazón.

Que Dios lo tenga en su gloria.

A mi madre.....

Mujer honesta y sencilla, implacable con la injusticia y que todas las noches pide a Dios por mi.

A mis hermanos.....

Francisco, Coquito, Amparo, María de Jesús, Ana, Carlos y Armando; quienes me hacen sentir tranquilo, porque se que cuando necesite de ellos, ahí estarán para apoyarme.

A mi esposa.....

Lolis, por su apoyo incondicional y a mis hijos Noé Iván y Carlos Osvaldo, que ojalá cuando sean adultos sean hombres de provecho.

Índice

Agradecimientos.....	i
Dedicatoria	ii
Índice.....	iii,iv,v
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas	vii
Resumen.....	viii

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación del proyecto	3
1.3 Objetivos	7
1.4 Hipótesis estadística.....	8
1.5 Limitaciones del estudio	9

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO ACTUAL

2.1 Estado actual del conocimiento sobre la contaminación por gas radón	10
2.1.1 Propiedades físico-químicas del radón (Rn^{222}).....	10
2.1.2 Unidades de medida y equivalencias	11
2.1.3 Radón y la radiación natural	14
2.1.3.1 Radiactividad	15
2.1.3.2 Fuentes de gas radón.....	18
2.1.3.2.1 Suelo.....	19
2.1.2.2.2 Agua	21
2.1.2.2.3 Aire exterior	22

2.1.2.2.4	Materiales de construcción	22
2.1.2.2.5	Gas natural	23
2.1.4	Historia de la legislación	23
2.1.4.1	Legislación vigente sobre radón	27
2.1.4.1.1	Guía de referencia (Normas Mexicanas)	27
2.1.4.1.2	Guía de referencia para los EU	27
2.1.4.1.3	Guía y valores de referencia en otros países	29
2.1.5	Pruebas de detección	30
2.1.6	Efectos sobre la salud	32
2.1.6.1	Riesgo de cáncer del pulmón	35
2.1.7	Algunos estudios similares en México	36
2.2	Contaminación Intradomiciliaria.....	38
2.2.1	Causas de la contaminación intradomiciliaria.....	38
2.2.2	Efectos de los contaminantes a la salud.....	39
2.3	Estadística	42
2.3.1	Conceptos generales	42
2.3.2	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra.....	45
2.3.3	Prueba de dos muestras independientes	46
2.3.4	Recomendaciones para las pruebas	48

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1	Ubicación del sitio de estudio	49
3.2	Ubicación de las unidades de análisis	50
3.3	Instrumentos de medición.....	52

3.4 Estudio adicional de gas radón.....	53
---	----

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Desarrollo del estudio	54
----------------------------------	----

4.2 Resultados de las concentraciones de gas radón	54
--	----

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	75
------------------------	----

5.2 Recomendaciones	77
---------------------------	----

Glosario.

Revisión de Literatura.

Apéndices.

Productos Obtenidos.

ÍNDICE DE FIGURAS

Número		Página
1	Promedio de las temperaturas máximas y mínimas mensuales en Mexicali, para el período de 1981 a 1997.....	4
2	Comportamiento de fallecimientos por tumores malignos de la tráquea, de los bronquios y del pulmón para la ciudad de Mexicali, Baja California, en el período de 1998 a 2003.....	6
3	Tumores malignos de órganos respiratorios intratorácicos, para la ciudad de Mexicali, Baja California, en el período de 2000 a 2003.	7
4	Desintegración radiactiva del uranio-238	10
5	Contribución de las distintas fuentes de radiación, de las dosis recibidas en la población	15
6	Radiación ionizante por partículas alfa (α)	17
7	Típicas fuentes de radón y rutas de entrada	19
8	Permeabilidad del gas radón del suelo hacia la atmósfera	21
9	Modelo ajustado a niveles de exposición en hogares para determinar guía de referencia	29
10	Interpretación de resultados en el uso de pruebas de detección....	32
11	Localización de partículas ionizantes en el pulmón	33
12	Ubicación geográfica de Mexicali.....	49
13	Ubicación de los puntos de muestreo.....	51
14	Concentración espacial de 25 muestras de gas radón.....	57
15	Concentración de gas radón y guía de referencia para modificar los hogares según EPA (datos del 2005).....	62
16	Concentración de gas radón y guía de referencia para modificar los hogares según EPA (datos del 2000)	62

ÍNDICE DE TABLAS

Número		Página
1	Factores de conversión y unidades de medida para radón.....	11
2	Niveles promedio para el ambiente e interiores y nivel de recomendación para cambios en la vivienda en Estados Unidos.....	18
3	Riesgo de cáncer del pulmón en hogares por exposición al radón.....	36
4	Niveles de radón en algunas ciudades de México con resultados del estudio para Mexicali	37
5	Relación entre algunos contaminantes y la salud.....	42
6	Concentración de gas radón (Rn^{222}) en pCi/L de aire en Mexicali, B.C.	55
7	Niveles de concentración de gas radón (Rn^{222}) en pCi/L de aire, ubicados por estratos (año: 2000).....	58
8	Datos básicos de las pruebas.....	63
9	Estadística descriptiva.....	64
10	Distribución de frecuencias e histograma.....	66
11	Análisis exploratorio.....	67
12	Análisis exploratorio por estrato.....	68
13	Análisis exploratorio por estrato sin datos extremos	69
14	Polvo de la calle - Se está a salvo en el hogar.....	70
15	Sabe del radón - Relacionado con el Instituto de Ingeniería.....	71
16	Horas de permanencia en el hogar.....	72
17	Tablas de contingencias sobre aspectos que indican fuentes de contaminación	73

Resumen

El gas radón produce problemas de contaminación radiológica ambiental, por lo que es importante determinar y conocer los niveles intradomiciliarios. La Agencia de Protección al Ambiente (EPA) por sus siglas en inglés, considera a este gas como la segunda causa de cáncer del pulmón después del tabaquismo. En este estudio exploratorio se midieron las concentraciones de gas radón (Rn^{222}) en 25 hogares de la ciudad de Mexicali, BC., con el objeto de explorar sus niveles y posibles causas de contaminación intradomiciliaria para ser usados de referencia en programas de salud pública. Las muestras se ubicaron en: Un estrato representado por colonias con servicio público de pavimentación y un segundo estrato en colonias sin el servicio de pavimentación. El muestreo se llevó a cabo durante los meses de enero, febrero y marzo del 2005, utilizando un juego de detección de pruebas cortas (*kit*) de carbón activado que cumplen con la normatividad de la EPA. Estas pruebas se enviaron para su análisis a Estados Unidos al laboratorio "Energía Alfa". En los resultados se encontró un valor promedio de 0.792 pCi/L y de 0.7310 pCi/L de aire para los estratos no pavimentado y pavimentado respectivamente. El promedio general fue de 0.760 pCi/L de aire (28.8 Bq/m³ de aire). Se analizó la base de datos de mediciones de gas radón que se llevaron a cabo en el año 2000 para cubrir el protocolo de análisis temporal; recomendado para los estudios de radón; el promedio general fue de 0.94 pCi/L de aire (34.8 Bq/m³ de aire). En las 25 casas muestreadas, la media de habitantes por hogar fue de 4.4, el tiempo de habitar la casa fue de 16.9 años, el 21% de los moradores pasan más del 75% en su casa.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

Se pensaría que el mejor sitio en el cual nos encontramos seguros, es nuestro hogar; sin embargo en años recientes ha surgido una preocupación en relación a la contaminación y su efecto en la salud. Estudios actuales indican que las personas no están a salvo de la contaminación ambiental en el interior de sus hogares; la presencia de enfermedades y muertes en individuos expuestos a partículas transportadas por el viento del ambiente exterior y del aire interior de los hogares, nos dice que ya no estamos tan seguros en estos espacios. Según Caceres et al., [1] en muchas de las grandes ciudades del mundo una fuente importante de contaminación de interiores lo constituye el aire que se infiltra del exterior, el cual frecuentemente es de mala calidad y contiene cientos de sustancias químicas peligrosas para la salud humana. Un estudio realizado por Osornio-Vargas [5] en donde usaron muestras de polvo del interior de algunos hogares de Mexicali, concluyen que éste induce a cambios en las actividades biológicas de las células y que puede ser un agente etiológico de fibrosis pulmonar (precursor de cáncer) en exposición individual, situación similar a la originada por el asbesto y los silicatos. El Instituto Nacional de Ecología [7] menciona:

“Dentro de habitaciones cerradas, ya sea que los contaminantes penetren por ventanas o puertas, al abrirse y cerrarse, o que sean generados dentro, como son las actividades con la combustión de gas LP de la estufa o del calentador de agua, o por la acción de la aspiradora o de la escoba, o por la aplicación de aromatizantes o limpiadores de piso o por el pelo de mascotas, o las fibras de las telas, ocasionalmente transformándose en otras sustancias aún más tóxicas.

Los contaminantes generados dentro de las habitaciones se juntan con aquellas que penetran desde el exterior, y los gases se dispersan y se depositan como polvo o entran en nuestros pulmones, afectando o agravando enfermedades cardiopulmonares o provocando malestares y enfermedades a largo plazo”.

En los países industrializados el hombre urbano pasa alrededor del 75% del tiempo en ambientes cerrados y en ciertos casos grupos de riesgo tales como: niños, enfermos crónicos y ancianos; esta cifra se puede elevar al 90%. Esto explica el creciente interés que está adquiriendo el conocer y estudiar los contaminantes ambientales presentes en interiores, específicamente de aquellos que pueden tener efectos significativos sobre la salud [1], [2].

Desde el punto de vista de la contaminación radiactiva, en los últimos años ha aumentado la preocupación por el peligro que la acumulación de gas radón en el interior de edificios puede representar para las personas que lo ocupan [2]. Según estudios realizados en Estados Unidos el gas radón representa el segundo factor de riesgo de cáncer de pulmón después de fumar [3], [4], [44]. Un estudio realizado en el 2000, sobre los efectos del radón en casos de muerte por cáncer pulmonar en Mexicali, Baja California; encontró que el mayor número de muertes se presentó en colonias que carecían del servicio de pavimentación y, en todos los casos, siempre ocurrían con mayor frecuencia en el género femenino; y que en los hogares de los fallecidos, las concentraciones de radón aparecían por arriba de las de los hogares en donde no hubo caso de fallecimiento por esta patología [3].

En el presente trabajo se pretende detectar los niveles de gas radón (Rn^{222}) en 25 hogares de la ciudad de Mexicali, y realizar un análisis comparativo de éstos resultado con las 94 muestras de radón obtenidas en el trabajo de Reyna y López [3] para

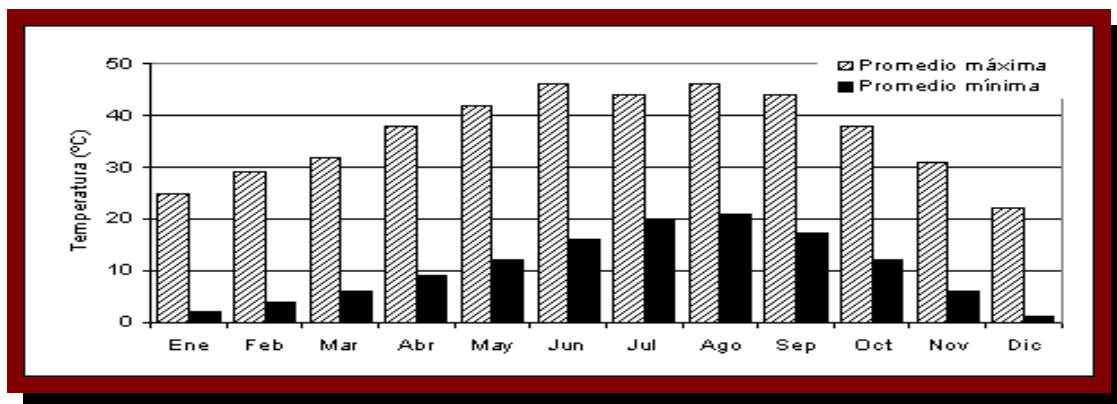
establecer si hay efecto en las concentraciones de radón por la ubicación de los estratos; pavimentado y no pavimentado, y determinar si estos niveles permanecen dentro de los parámetros de referencia para el gas radón que establece la Agencia de Protección al Ambiente. Se aplicó una encuesta a los responsables de los hogares, para recopilar información sobre la dinámica de la familia y su conocimiento sobre la contaminación. Los datos obtenidos en este trabajo formarán parte de estudios más amplios sobre contaminación intradomiciliaria y serán usados como punto de referencia para trabajos de investigación más detallados sobre la contaminación del aire y sus efectos en la salud, especialmente en la incidencia de cáncer pulmonar. Será prioritario para investigaciones futuras, seguir cuantificando y documentar las concentraciones de contaminantes que se relacionan con cáncer del pulmón, tales como: Tabaquismo, asbestos y polvo entre otros; lo que permita en estudios posteriores de causa-efecto, determinar el origen de los fallecimientos observados en la figura 2.

1.2 Justificación del proyecto.

El clima: Las temperaturas altas en los meses de verano y bajas en los meses de invierno para la ciudad de Mexicali, obligan a las personas a permanecer en espacios cerrados por tiempos prolongados para protegerse de éstas, esto implica un riesgo de exposición ante cualquier contaminante presente en sus hogares. Si el aire que se respira está cargado con gas radón, las partículas radiactivas que el radón emite al descomponerse pueden quedar atrapadas en los pulmones y causar cáncer [2], [4]. Investigaciones recientes confirman que los niveles bajos de respiración del radón pueden conducir al cáncer de pulmón [19], [27], [28]. La ciudad es una localidad cuyo clima se clasifica en BW [h'] muy seco muy cálido y cálido, según carta climática CGSNEGI, 1:1'000,000 [6]. En la Figura 1 se presenta la información de las

temperaturas máxima y mínima promedio mensual para el período 1981-1997. En este período se registró una temperatura media anual superior a los 23 °C, con una media para el mes más frío de 12 °C y la media del mes más caliente de 34 °C.

Los meses de mayor temperatura corresponden al período de abril a octubre con un promedio de más de 29 °C. Los meses de diciembre a febrero presentan las temperaturas más bajas con un promedio, para este período, de 14 °C y un promedio de temperaturas mínimas de 2 °C. [8].



Fuente: INE (2002).

Figura 1. Promedios de las temperaturas máximas y mínimas mensuales en Mexicali, para el período de 1981 a 1997.

El radón y sus efectos: En Europa, se estima que el 9% de las muertes por cáncer del pulmón son atribuibles al radón [27]. El informe anual del año 2000 sobre los agentes carcinogénicos del Departamento de Salud de los Estado Unidos, basado en estimaciones actuales de exposición y de riesgo, menciona que la exposición al radón en casas unifamiliares origina aproximadamente 20,000 muertes por cáncer del pulmón cada año [4]. Estimaciones del Consejo de Investigación Nacional, de la Academia Nacional de Ciencias (NAS) y la EPA, según lo publicado en los informes “efectos biológicos de la radiación de ionización” (BEIR VI, 1998), y del “gravamen de riesgo del

radón en agua potable 1999”, mencionan que la radiactividad es peligrosa en cualquier nivel e incluso para niveles bajos del gas radón; se considera que mueren alrededor de 700 personas cada año por exposición a niveles bajos [9], [4].

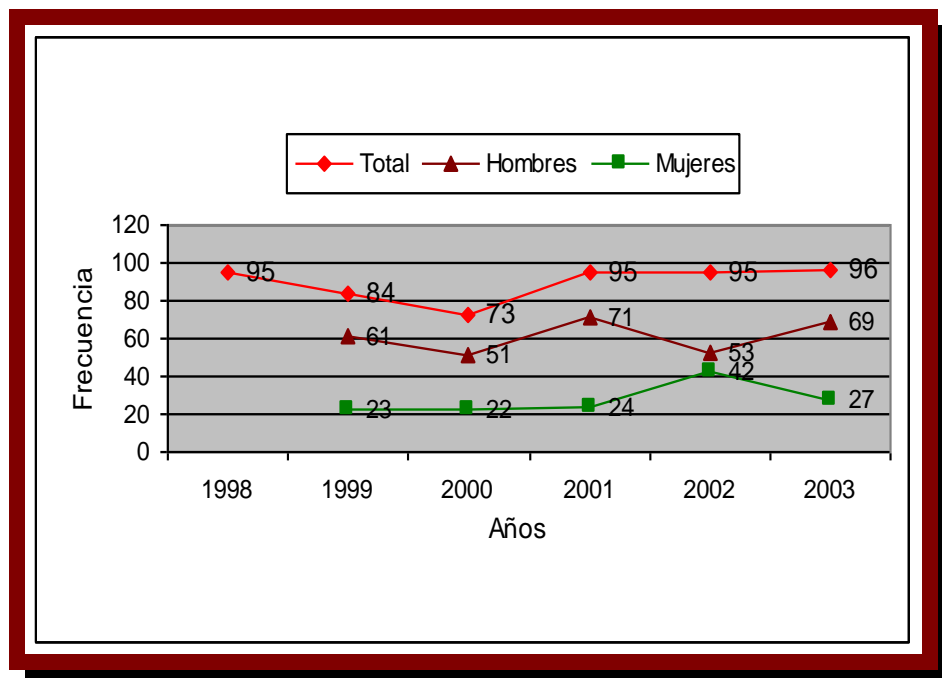
Escasos estudios en México: Segovia et al., [10] menciona que en México existe poca información acerca del riesgo que representa el radón en términos de salud. El informe en el Foro “La Salud Ambiental en la Frontera de Baja California y California” menciona que se necesitan estudios adicionales sobre la relación entre los contaminantes ambientales y las afecciones de la salud tales como el asma y la fibrosis pulmonar [11]. En la actualidad no existen guías específicas recomendadas para calidad de aire en interiores de aceptación general. En la práctica se toman a menudo como referencia los valores documentados para ambientes laborales, para aire exterior o, los más adecuados para calidad de aire en general [12].

Cedillo, (2002) [11] menciona que las metas generales de la Secretaría de Salud de México es, entre otras: Reducir un 60 % la incidencia de enfermedades respiratorias que resultan de la exposición a algo dañino en el interior de las casas. Considerando que los estudios ambientales en México han fijado su atención en la contaminación intradomiciliaria y existe poca información en el tema, además los estudios de radón y su impacto en la salud están poco documentados en la región; este trabajo de tesis pretende contribuir a generar información de este contaminante natural sobre las concentraciones, su ubicación y su análisis; acompañado de la interpretación de datos obtenidos a partir de reactivos aplicados sobre la contaminación en las 25 casas donde se midieron los niveles de radón.

En la Figura 2 se muestran los fallecimientos por tumores malignos, observándose una mayor incidencia en hombres que en mujeres (Para el año de 1998 solo se obtuvo información del total de fallecimientos).

En la Figura 3 se comparan las causas de los fallecimientos por tumores malignos de órganos respiratorios intratorácicos.

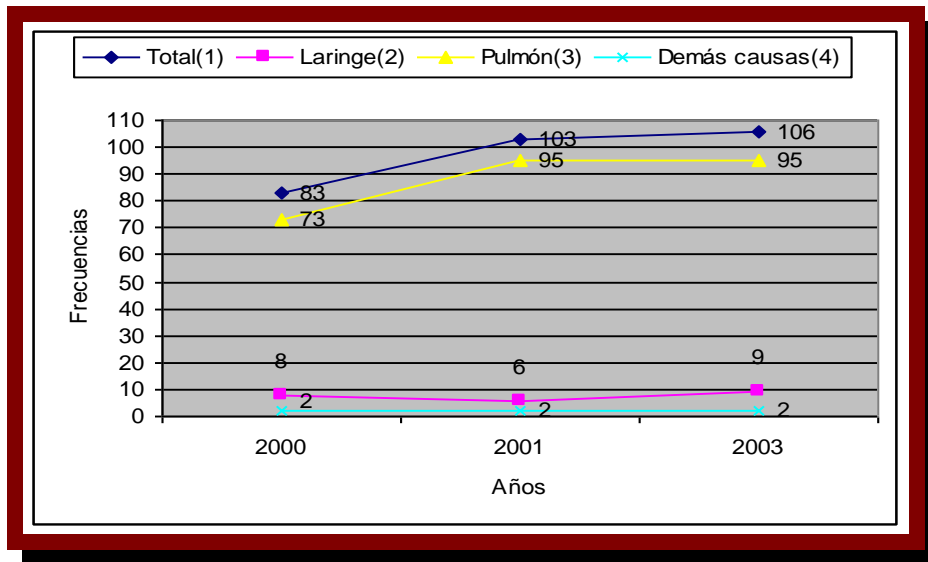
En estos datos estadísticos no se conocen las causas de los fallecimientos, situación que deja al descubierto la importancia de identificar las posibles fuentes.



Fuente: Jurisdicción de Servicios de Salud, Mexicali.
Departamento de Epidemiología y Estadística.

Figura 2. Comportamiento de fallecimientos por tumores malignos de la tráquea, de los bronquios y del pulmón para la ciudad de Mexicali, Baja California en el período de 1998 a 2003.

- (1) Total de tumores malignos de órganos respiratorios intratorácicos.
- (2) Tumor maligno de la laringe.
- (3) Tumor maligno de la tráquea, de los bronquios y del pulmón.
- (4) Demás causas.



Fuente: Jurisdicción de Servicios de Salud. Mexicali.
Departamento de Epidemiología y Estadística.

Figura 3. Tumores malignos de órganos respiratorios intratorácicos, para la ciudad de Mexicali, Baja California en el período de 2000 a 2003.

1.3 Objetivos.

Objetivo general.

Explorar las concentraciones espaciales de radón intradomiciliario mediante pruebas cortas de carbón activado y determinar posibles causas de contaminación intradomiciliaria en la población de Mexicali, Baja California, México.

Objetivos específicos.

- a) Analizar los niveles de radón (Rn^{222}) intradomiciliario aplicando pruebas cortas de carbón activado en 25 hogares de Mexicali, Baja California, México.

- b) Analizar retrospectivamente los niveles de radón (Rn^{222}) intradomiciliario, de 94 muestras tomadas en la ciudad de Mexicali, Baja California; en el año 2000 y comparar los resultados con los obtenidos del muestreo actual.
- c) Explorar factores de contaminación intradomiciliaria para 25 casas, donde se midieron los niveles de gas radón.

1.4 Hipótesis Estadística.

Relación: Niveles de gas radón – Estratos (pavimentado/no pavimentado).

Ho: ($F_1=F_2$) No existen diferencias significativas de los niveles de gas radón en pCi/L de aire entre los estratos pavimentado y no pavimentado, para las 25 muestras tomadas en el año 2005 y las 94 muestras tomadas en el año 2000.

H1: ($F_1 \neq F_2$) Existen diferencias significativas.

Relación: Niveles de gas radón – incidencia de fallecidos por cáncer pulmonar. (Mediciones en el año 2000).

Ho: ($F_1=F_2$). No existen diferencias significativas en las concentraciones de gas radón para los estratos fallecidos y no fallecidos.

H1: ($F_1 \neq F_2$). Existen diferencias significativas.

1.5 Limitaciones del estudio.

Se pretende establecer tendencias sobre las concentraciones de gas radón y explorar mediante una encuesta la contaminación intradomiciliaria. Considerando que el número de muestras es pequeño y éstas fueron seleccionadas de manera arbitraria (muestreo no aleatorio) no es posible hacer inferencia sobre la población de Mexicali. El estudio será base para investigaciones futuras sobre radón y estudios epidemiológicos.

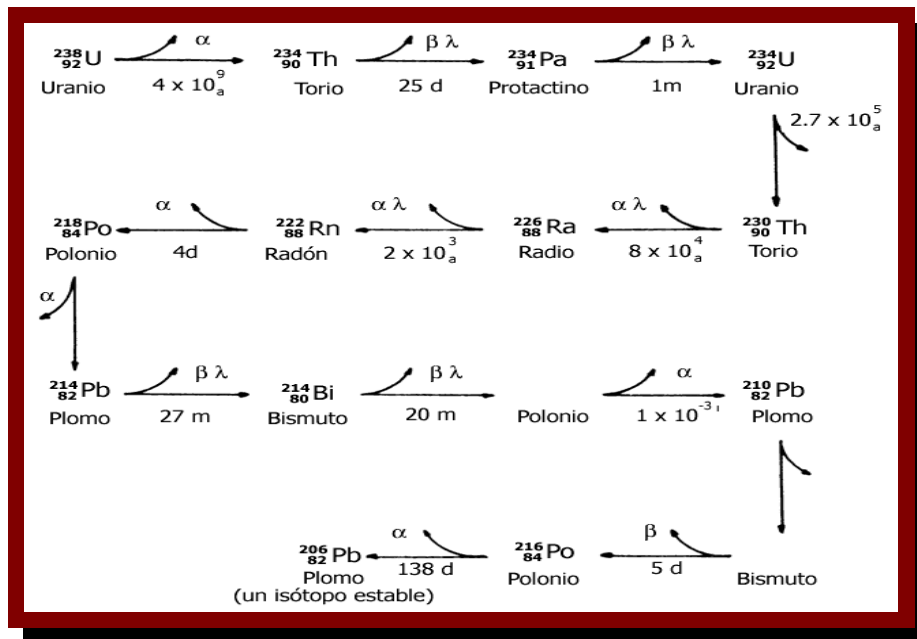
En este tipo de **estudio explorativo** no se concluye, sino se pretende hacer un análisis descriptivo con el fin de determinar tendencias, identificar relaciones potenciales entre variables y establecer el tono de investigaciones posteriores, más rigurosas (Danker, 1986) [47], tratando de establecer una causa-efecto.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO ACTUAL

2.1 Estado actual del conocimiento sobre la contaminación por gas radón.

2.1.1 Propiedades físico-químicas del radón (Rn²²²).

Es un gas noble, inodoro, incoloro e insípido con una alta densidad; se conocen diecinueve isótopos, los importantes principalmente son tres de peso atómico 219, 220 y 222. El Radón 222 es el principal, [2] químicamente inerte y forma parte de los seis gases nobles que constituyen el grupo VIII de la tabla periódica de los elementos. Es soluble en agua y en otros líquidos; es el más pesado de los gases nobles del sistema periódico. Su número atómico es 86. Su punto de fusión es de -72 °C. Punto de ebullición de -62 °C. Presenta una densidad de 9,73 g/l (a 0 °C y 1 atmósfera de presión) [17]. Se obtiene por la desintegración radiactiva del radio²²⁶ (figura 4, [25]) y se encuentra asociado al uranio [18]. Tiene una vida media de 3.8 días, y se convierte emitiendo partículas alfa (α) en un isótopo del elemento polonio [17].



Fuente:http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec_7.htm

Figura 4. Desintegración radiactiva del Uranio-238.

2.1.2 Unidades de medida y equivalencias.

La unidad básica [en el sistema internacional de unidades (SI)] de radiactividad, es en Becquerelios, lo cual corresponde a una desintegración por segundo; la unidad de medida en picocuries (pCi) es comúnmente usada en los Estados Unidos y es equivalente a 3.7×10^{-2} desintegraciones por segundo. La concentración del radón se expresa en Becquerelios por metro cúbico de aire (Bq/m^3 de aire) o picocuries por litro de aire (pCi/L de aire) [32]. En la tabla 1 se encuentran las unidades de medida y los factores de conversión.

Las primeras mediciones de concentración de los descendientes del radón fueron hechas en mineros y fueron parte de los esfuerzos por caracterizar y establecer límites de exposición. La concentración de energía potencial alfa fue concebida como nivel de trabajo [working levels (WL)], [32]. 1 WL se define como cualquier combinación de los descendientes de la breve duración del radón en 1 litro de aire con el potencial de emitir 1.3×10^5 meV de la energía de la partícula alfa durante decaimiento a plomo 210. Un WL es equivalente a $130 \text{ meV}/\text{cm}^3$, ($\text{meV} = \text{millelectron volt}$) a $20,83 \mu\text{J}/\text{m}^3$, a $101,3 \text{ pCi}/\text{L}$ o a $3746 \text{ Bq}/\text{m}^3$ de radón-222 en equilibrio con sus productos de breve duración del decaimiento. Un WLM equivale a una exposición promedio de $200 \text{ pCi}/\text{L}$ ($7400 \text{ Bq}/\text{m}^3$) de aire para 170 horas [33].

Tabla 1. Factores de conversión y unidades de medida para radón.

Actividad	1 Becquerelio (Bq) = 1 desintegración por segundo
	1 curio (Ci) = 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo = 3.7×10^{10} Bq

	<p>1 picocurio(pCi) =0.037 Bq</p> <p>= 2.22 desintegraciones por minuto</p>
Concentración de la actividad	<p>1Bq/m³ =0.027 pCi/L de aire</p> <p>1pCi/L =37 Bq/ m³ =0.37Bq/l</p> <p>1Bq /kg=0.027 pCi/g</p>
Concentración de la Energía Potencial Alpha(PAEC)	<p>PAEC= 1.3X 10⁵ /MeV/ L</p> <p>=2.08 X 10⁻⁵ J/m³</p> <p>= 1 Working Level (WL)</p> <p>1mWL = 20.8/ nJ/m³</p>
DESINTEGRACIÓN Concentración de Equilibrio Equivalente (EEC) desintegración	<p>EE(²²²Rn) = 0.104 I [²¹⁸Po] + 0.517 I [²¹⁴Pb]</p> <p>+ 0.379 I [²¹⁴Bi]</p> <p>EEC(²²⁰Rn) = 0.913 I [²¹²Pb] + 0.087 I [²¹²Bi]</p> <p>(Donde EEC y I [i] es equivalente a Bq/ m³ ó pCi/ L</p> <p>Para ²²²Rn: EEC (Bq/m³) = 3700 X PAEC (WL)</p> <p>PAEC (nJ/m³) =5.62 X EEC (Bq/m³)</p> <p>Para ²²⁰Rn: EEC (Bq/m³)=276 X PAEC (WL)</p> <p>PAEC (nJ/m³)= 75.4 X EEC(Bq/m³)</p> <p>Factor de Equilibrio (F) =EEC/I [Rn]</p> <p>1 Bq/m³ ²²²Rn =2.81 nJ/m³) PAEC at F=0.5</p> <p>=1.35 X10⁻⁴ WL</p> <p>1 pCi /L ²²²Rn =5.0 X 10⁻³ WL at F = 0.5</p> <p>1 Bq m ²²⁰Rn =3.77 nJ/m⁻³ PAEC at F = 0.05^b</p>

	$=1.81 \times 10^{-4} \text{ WL}$ $1 \text{ pCi/L } ^{220}\text{Rn} = 6.7 \times 10^{-3} \text{ WL al } F = 0.05^b$
Exposición	<p>1 Trabajo –nivel- mes (WLM) = 1 WL para 170 h</p> <p>$\text{WLM} = \text{WL} \times (\text{tiempo de exposición en 170 h})$</p> <p>$= 3.54 \times 10^{-3} \text{ J h/m}^3$</p> <p>Trabajando 170 horas por mes. Para 1 año a 1 WL=12 WLM</p> <p>Viviendo por un año a WL =51.5 WLM</p> <p>Para 1 año de exposición al 100% de ocupación; F= 0.5 para ^{222}Rn; F=0.05^b para ^{220}Rn</p> <p>$1 \text{ Bq/m}^3 \text{ } ^{222}\text{Rn} = 2.81 \text{ nJ y m} = 2.46 \times 10^{-5} \text{ Jh m}^{-3}$</p> <p>$= 7.0 \times 10^{-3} \text{ WLM}$</p> <p>$1 \text{ pCi/L } ^{222}\text{Rn} = 0.26 \text{ WLM}$</p>
Dosis	<p>UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL(ISU)</p> <p>1 gray (Gy) = 1 Joule por kilogramo (1 Jh/Kg)</p> <p>= 100 rad.</p>
Dosis equivalente	Sievert (Sv) = 100 rem

a. Unidades de medida adoptadas por ISU.

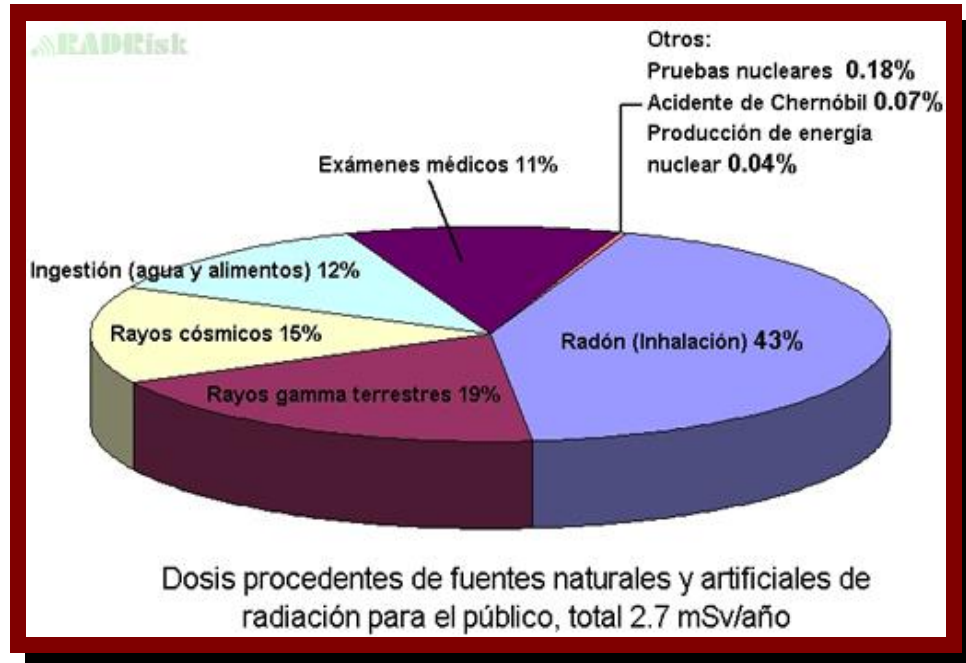
b. Factor de equilibrio para desintegración de ^{220}Rn basado en estimaciones de referencias [34] y [35].

2.1.3 Radón y la radiación natural.

La superficie del planeta tierra, desde sus orígenes, ha estado afectada por la radiación proveniente del espacio exterior y de los materiales radiactivos constituyentes de la corteza terrestre.

La mayor parte de la radiación recibida por la población del mundo proviene de fuentes naturales. Este tipo de exposición es, en la mayoría de los casos inevitable.

Aunque todos los seres humanos están expuestos a la radiación natural, algunos lo están más que otros. Ello depende del lugar donde vivan; en países europeos, como Polonia y Suiza por ejemplo los valores medios de radón intradomiciliario varía de 9 Bq/m³ de aire y 60 Bq/m³ de aire respectivamente [41]. En zonas con rocas o suelos particularmente radiactivos, Antovich [41] menciona por ejemplo que el contenido de uranio en bauxita es varias veces mayor que el valor de la corteza terrestre, las dosis llegan a ser 20 veces mayores que los valores medios mundiales. La dosis también depende de la forma de la vida de la población; la utilización de determinados materiales de construcción de sus viviendas, el cocinar con gas natural, el uso de calefacción con hogares a base de carbón y el aislamiento térmico de los ambientes. Se ha reportado que el radón y sus productos de desintegración en espacios cerrados puede ser alto [Huet et al., 2001; Kennedy y Gray, (2001)], citados en [42]. En la figura 5 se presenta la contribución de las distintas fuentes de radiación natural y artificial, de las dosis que recibe la población [2].



Fuente: Naciones Unidas (UNSCEAR, 2000).

Figura 5. Contribución de las distintas fuentes de radiación, de las dosis recibidas en la población.

2.1.3.1 Radiactividad.

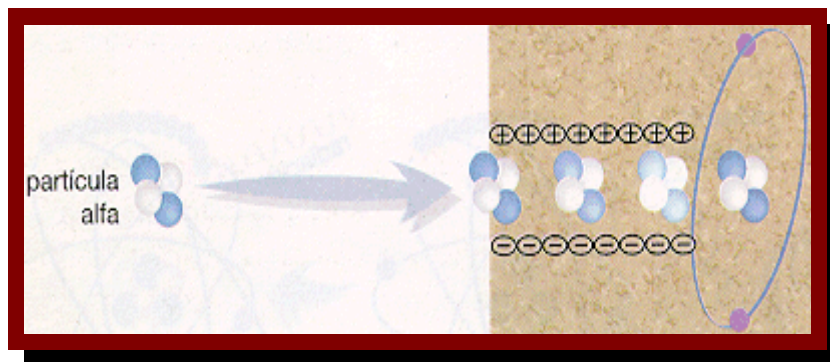
Radiactividad Natural. En Febrero de 1896, el físico francés Henri Becquerel al investigar con cuerpos fluorescentes (entre ellos el sulfato de uranio y el potasio), halló una nueva propiedad de la materia a la que posteriormente Marie Curie llamó "Radiactividad". Se descubre que ciertos elementos tenían la propiedad de emitir radiaciones semejantes a los rayos X en forma espontánea. Tal radiación era penetrante y provenía del cristal de uranio sobre el cual se investigaba. Marie y Pierre Curie al proseguir los estudios encontraron fuentes de radiación natural bastante más poderosas que el uranio original, entre estos el polonio y el radio.

La radiactividad del elemento no dependía de la naturaleza física o química de los átomos que lo componían, sino que era una propiedad radicada en el interior mismo del

átomo. Hoy en día se conocen más de 40 elementos radiactivos naturales, que corresponden a los elementos más pesados. Por arriba del número atómico 83, todos los núcleos de los elementos naturales son radiactivos.

Desintegraciones Alfa, Beta y Gamma. La radiactividad es un fenómeno que se origina exclusivamente en el núcleo de los átomos radiactivos. La causa que los origina probablemente se debe a la variación en la cantidad de partículas que se encuentran en el núcleo. Cuando el núcleo atómico es inestable a causa del gran número de protones que posee (ocurre en los elementos más pesados, es decir con $Z = 83$ o superior), la estabilidad es alcanzada, con frecuencia, emitiendo una partícula alfa, es decir, un núcleo de Helio (${}_2\text{He}^4$) formado por dos protones y dos neutrones. Cuando la relación de neutrones/protones en un núcleo atómico es elevada, el núcleo se estabiliza emitiendo un neutrón, o bien como ocurre con frecuencia, emitiendo una partícula beta, es decir, un electrón. Cuando la relación de neutrones/protones es muy pequeña, debe ocurrir una disminución en el número de protones o aumentar el número de neutrones para lograr la estabilidad del núcleo. Esto ocurre con la emisión de un electrón positivo o positrón, o bien absorbiendo el núcleo un electrón orbital.

Interacción de las Radiaciones Alfa con la Materia. La partícula alfa se compone de dos protones y dos neutrones. Su poder de penetración en la materia es muy bajo y sólo es capaz de recorrer algunos centímetros en el aire. Su corto recorrido describe una trayectoria prácticamente en línea recta. Cuando penetra la materia (figura 6) presenta un alto poder de ionización, formando verdaderas columnas de iones (cuando penetra en un centímetro de aire puede producir hasta 30000 pares de iones).



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos/enuclear/enuclear.shtml>

Figura 6. Radiación ionizante por partículas alfa (α).

Radiaciones Ionizantes. Son radiaciones con energía necesaria para arrancar electrones de los átomos. Cuando un átomo queda con un exceso de carga eléctrica, ya sea positiva o negativa, se dice que se ha convertido en un ión (positivo o negativo). Son radiaciones ionizantes los rayos X, las radiaciones alfa, beta, gamma y la emisión de neutrones.

La radiación cósmica (proveniente del sol y del espacio interestelar) también es un tipo de radiación ionizante, pues está compuesta por radiaciones electromagnéticas y por partículas con gran cantidad de energía. Es así como, los llamados rayos cósmicos blandos, se componen principalmente de rayos gamma, electrones o positrones, y la radiación cósmica primaria (que llega a las capas más altas de la atmósfera) se compone fundamentalmente de protones. Cuando la radiación cósmica interactúa con la atmósfera de la Tierra, se forman en ella átomos radiactivos (como el tritio y el carbono-14) y se producen partículas alfa, neutrones o protones [21]. Las radiaciones ionizantes pueden provocar reacciones y cambios químicos con el material con el cual interactúan. Por ejemplo, son capaces de romper los enlaces químicos de las moléculas o generar cambios genéticos en células reproductoras.

2.1.3.2 Fuentes de gas radón.

Dado que el radio, pariente del radón está incrustado en todos los materiales, el radón está presente en hogares [oscila entre: .54 a 5.4 pCi/L (20 a 200 Bq/m³), (OMS)] y el ambiente exterior. La tabla 2 muestra los niveles medios anuales de radón para interiores y ambientales en los Estados Unidos. Las fuentes de radón incluyen el suelo en el que se está asentado, agua, aire exterior, materiales de construcción y gas natural [29]. En la figura 7 se representan las fuentes más típicas de radón y las rutas de entrada prioritarias [2].

Tabla 2. Niveles promedio para el ambiente e interiores, y nivel de recomendación para cambios en la vivienda, en Estados Unidos.

Nivel de Radón pCi/L	DESCRIPCIÓN
0.4	Concentración media de radón en el ambiente
1.3	Concentración media de radón en interiores
4.0	EPA recomienda modificar su casa

Fuente: Laboratorio de Energía Alfa. [Apéndice].



Fuente: NTP 440.

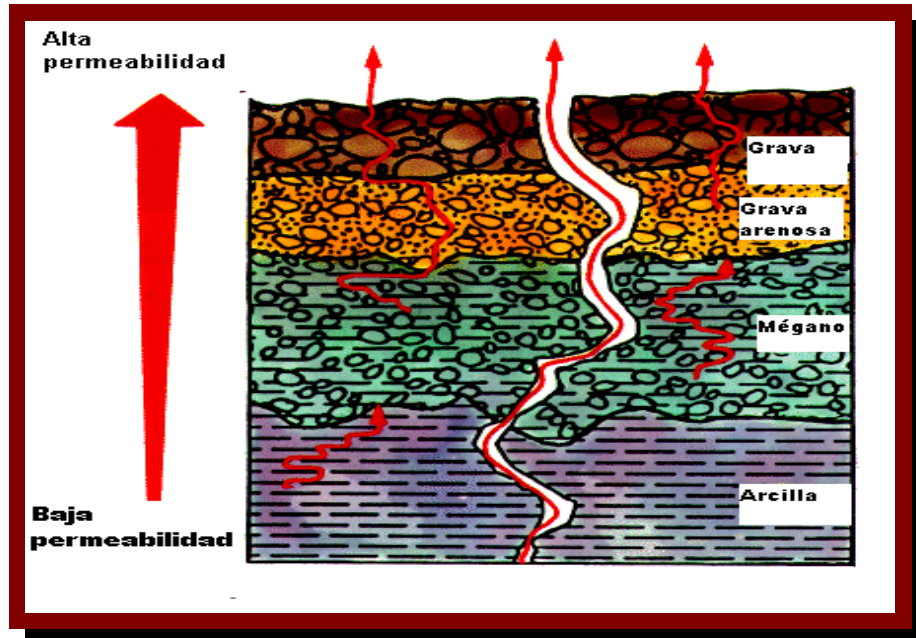
Figura 7. Típicas fuentes de radón y rutas de entrada.

2.1.3.2.1 Suelo.

La fuente principal en hogares con concentraciones elevadas de radón, es el suelo adyacente a la subestructura del edificio y su contenido de radio. Berenguer citado por Nagda, [32] menciona que La concentración de radio en el suelo se halla generalmente entre 10 y 50 Bq/Kg. aunque puede alcanzar valores muy superiores. El valor promedio es de alrededor de 40 Bq/kg. Las concentraciones de radón en suelos varían entre 10,000 y 50,000 Bq/m³, El radón procedente del suelo y de los materiales de construcción pasa al aire interior por difusión molecular; **en una fase inicial por desintegración del radio existente, formándose una fracción de radón que emana del medio sólido y ocupa los poros existentes, pudiendo a partir de ellos, desplazarse hasta alcanzar la superficie y pasar al aire. Este mecanismo vendrá afectado por la distancia (longitud de difusión) que el radón puede recorrer antes de desintegrarse y que para un suelo normal es de alrededor de 1 m. Varios**

estudios y análisis experimentales recientes han investigado la reducción del gas radón del suelo y en casas, ayudando a comprender el papel del flujo convectivo y advectivo como proceso importante del transporte y de la entrada del gas a los hogares. Turk (1991), citado por Nagda [32] menciona la importancia del flujo del gas en el suelo y la penetración del radón en los hogares; demostrado por los resultados en los esfuerzos de mitigación del gas, usando descompresión ó presurización del sótano para invertir los gradientes de la presión responsables que el suelo provea de gas radón en edificios. En casos donde la técnica de mitigación fue aplicada con éxito, la entrada del radón disminuyó agudamente cuando el gradiente de la presión a través de la subestructura del edificio fue invertido [36].

Schumann et al., citado por Nagda [32] menciona que el flujo de gas radón depende de las concentraciones de radio en el suelo y roca subyacente; de la habilidad de radón para escapar del suelo que contiene el radio (poder de emanación ó coeficiente de emanación) y de la habilidad del radón para moverse sobre las rocas, y las fracturas del suelo y poros. La figura 8 muestra la permeabilidad del gas radón [37].



Fuente: US. Geological Survey, (1995).

Figura 8. Permeabilidad del gas radón del suelo hacia la atmósfera.

2.1.3.2.2 Agua.

Lawrence (1992) [32] menciona, puesto que el radio se distribuye extensamente en la corteza de la tierra, se encuentra en los minerales que vienen en contacto con agua subterránea. Se ha observado que el radón -soluble en agua- se encuentra en agua subterránea, y en algunos casos, las concentraciones son significativas.

El radón se transfiere en el agua directamente del decaimiento radiactivo del radio en los materiales sólidos en el acuífero, y una vez disuelto se transporta con el agua, la cual es usada en interiores, particularmente en las circunstancias donde el agua se calienta o se airea. Berenguer (2002) menciona que en algunas regiones del planeta en las que el agua utilizada procede de pozos perforados en rocas con una elevada concentración de radón se ha demostrado que el nivel de radón en agua puede llegar a

valores entre 100 kBq/m^3 y 100 MBq/m^3 de aire. El valor medio mundial de radón en el agua de consumo se considera que es de 10 kBq/m^3 de aire.

2.1.3.2.3 Aire exterior.

El Consejo Nacional para la Protección de la Radiación (**NCRP**), por sus siglas en inglés, menciona que la concentración ambiental de radón constituye una mínima parte para interiores en relación con otras fuentes. Según los últimos datos disponibles el valor medio para el radón es de 10 Bq/m^3 de aire en áreas continentales, algo inferior en las zonas costeras y sobre los océanos de aproximadamente 0.1 Bq/m^3 de aire. El Comité Científico de las Naciones Unidas para los Efectos de la Radiación Atómica (**UNSCEAR**, 1988), señala que la media aritmética en el mundo a un metro de altura es de 0.14 pCi/L de aire (5 Bq/m^3) [41]. El suelo es la fuente principal del radón al aire libre, con solamente 2% del radón atmosférico aportado por el lanzamiento del radón de los océanos. Las concentraciones de radón más cercanas al suelo, son típicamente las más altas sobre las primeras horas de la mañana, cuando la atmósfera es la más estable y más bajas en horas de la tarde. Observaciones en las concentraciones establecen que éstas varían diariamente, por temporada, localización geográfica y la altitud [32].

2.1.3.2.4 Materiales de construcción.

La concentración intradomiciliaria media de radón, debido a la emanación de este por los materiales de construcción es absolutamente pequeño, según reportes para el caso de los Estados Unidos, Canadá y Europa [32]. Los materiales de construcción son, en general, la segunda fuente en importancia de radón en interiores. La emisión de radón a partir de los materiales de construcción depende no sólo de la concentración de radio en los mismos sino también de factores tales como la fracción de radón producido que

es liberado del material, la porosidad del material y la preparación de la superficie y el acabado de las paredes. Es frecuente encontrar entre los materiales de construcción productos con un contenido en radio y torio de hasta 50 Bq/kg. [39]. Straden [32], menciona que el radio se distribuye extensamente en la corteza de la tierra y está presente en cantidades de rastros en todos los materiales de construcción hechos de tierra.

2.1.3.2.5 Gas natural.

Al igual que el agua subterránea, el gas natural puede acumular gas radón del radio presente en las rocas y materiales de formación del gas. Casi todo el radón original se desintegra desde el tiempo que es producido hasta la entrega final. Líneas de distribución de gas natural fueron estudiadas en varias localidades en los Estados Unidos, esas concentraciones tuvieron una variación de aproximadamente 40 a 4000 Bq/m³ de aire con un promedio de aproximadamente 750 Bq/m³ de aire (Jonson, 1973).

2.1.4 Historia de la legislación.

- Las primeras observaciones sobre los productos derivados del radón y del propio radón que podrían constituir un riesgo a la salud humana, se presentaron en los años 20. Lorensen y Ludvig (1924), así como Behounek (1927), indicaron que el radón es un gas radiactivo y podría ser un factor determinante en la mortalidad creciente asociada a las enfermedades pulmonares observadas entre trabajadores de minas desde los años 1500s.
- Las primeras pautas para la protección contra el radón, se dieron en la exposición ocupacional. En 1941, el comité consultivo de Estados Unidos sobre la protección de la radiografía y del radio fijó 10⁻⁸ mCi/cm³ de aire (370 Bq/m³ de aire EER1) como el valor de la concentración permitida máxima para la

exposición ocupacional. (40hr/semana) para Rn^{222} , incluyendo sus productos derivados (Oficina Nacional de Estándares, 1941).

- La conexión entre el radón presente en las minas y cáncer de pulmón en los trabajadores, fue establecida en los últimos 50 años, a través de la ayuda de estudios epidemiológicos que observaban una mortalidad creciente, debido al cáncer de pulmón observado en trabajadores de las minas de uranio Americanas, Checoslovacas y Canadienses (Archer 1962, Wagoner et al. 1965, Sevc et. al 1976, Chovil 1981).
 - En 1977, la *Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)* publicó: *"Los límites recomendados están pensados como guías para la planeación y se aplican sobre todo a la práctica hecha por el hombre. Las modificaciones artificiales o las actividades en el ambiente y del hombre, pueden aumentar la exposición normal a la radiación natural. La vida uniforme en una casa es a menudo suficiente para aumentar la exposición de radiación porque la ventilación restricta tiende a conducir a una acumulación de gases radiactivos y de sus productos del decaimiento (ICRP 26, 1977)". En 1983, el ICRP concluyó en los principios para limitar la exposición del público a las fuentes naturales de la radiación que "casi todas las exposiciones a las fuentes naturales de la radiación son controlables a un cierto grado, los elementos de control deben por lo tanto ser un factor importante en cualquier sistema de acción del límite de la dosis. Hay una diferencia clara entre las situaciones existentes de la exposición, donde cualquier acción tendría que ser remediadora, y las*

situaciones futuras, que pueden estar conforme a la limitación y al control en las etapas de la decisión y de la planeación. No sería provechoso sugerir un valor generalmente aplicable de un nivel de la acción, incluso uno limitado específicamente al radón en casas. Se recomienda que las autoridades nacionales competentes establezcan niveles a través de la investigación, para separar las exposiciones que requieren la investigación de los que no lo requieran; para establecer un límite superior apropiado para la exposición del radón; dentro de una cierta indicación de los niveles de referencia del riesgo lo cual sería provechosa. La Comisión cree que un límite superior razonable para la concentración de EER está en el orden de 100 Bq/m³ de aire y que, en muchos países, un valor de esta magnitud evitaría que el radón se convirtiera en una fuente dominante del riesgo en viviendas. " (ICRP 39, 1983).

- Gerusky, (1987) menciona que en diciembre de 1984 Stanley Watras, un ingeniero de la compañía Limerick ubicada en Pottstown, Pennsylvania, en la estación generadora de energía nuclear; prendió las alarmas de detección de radiación en la ropa de los trabajadores de la compañía, posteriormente se investigó y se determinó que la radiación de su ropa no era de la planta nuclear, sino de su casa. Niveles de radón de 13.5 WL fueron encontrados en su casa [32].
- En 1990, la Comisión de las Comunidades Europeas presentó las recomendaciones para la protección del público contra la exposición al radón de interior.

Edificios existentes: Un nivel de referencia para considerar una acción remediadora, estará dada por una media anual de gas radón de 400 Bq/m^3 de aire.

Edificaciones futuras: Las estrategias deben ser usadas para ayudar a las autoridades de alto nivel a establecer regulaciones, estándares, o códigos de las prácticas de la construcción para las circunstancias bajo las cuales el nivel del diseño pudo ser excedido de otra manera.

Medidas: Se recomienda como referencia tomar el nivel de concentración media anual del gas del radón de 200 Bq/m^3 de aire. Las autoridades competentes deben asegurarse de que la calidad y la confiabilidad de medidas sean adecuadas.

Planeación: Los "criterios deben estar basados para identificar las regiones, sitios y la construcción de las características que se asociarán a altos niveles probables de radón " (EC 1990).

- Las primeras regulaciones federales referentes a acciones contra el radón en viviendas fueron decretadas por los E.U. en 1979 y aplicadas a las casas construidas en tierra expropiadas en los distritos de explotación minera de fosfato en la Florida (EPA , 79) y a las viviendas construidas en las faldas de áreas que minaban uranio en Colorado (EPA 80). Un nivel de la acción de 2 pCi/L de aire EER (74 Bq/m^3 de aire EER) fue fijado para las viviendas y 200 Bq/m^3 de aire EER de la Florida para los edificios ubicados a las orillas de las minas.
- En Suecia, después de que el Instituto Sueco de Protección Contra la Radiación descubriera concentraciones considerablemente elevadas del radón

en los hogares construidos en roca con altas concentraciones de uranio, la Comisión Sueca del Radón fue fundada en 1979. Uno de los actos de esta comisión primero debía proponer los límites para el radón en construcciones residenciales y edificios nuevos. En el año 80, los límites obligatorios siguientes fueron publicados: viviendas existentes, 400 Bq/m³ de aire EER, nueva construcción, 70 Bq/ m³ de aire EER. Estos fueron revisados más adelante y en fecha 1994, expresado como concentración anual del gas del radón. Para las viviendas existentes, incluyendo lugares de trabajo (excepto minas), el límite obligatorio para la concentración del gas del radón es 400 Bq/ m³ de aire. Para la nueva construcción el límite es 200 Bq/ m³ de aire [20].

2.1.4.1 Legislación vigente sobre radón.

2.1.4.1.1 Guía de referencia (Normas Mexicanas).

Las normas de calidad del aire fijan valores máximos permisibles de concentración de contaminantes, con el propósito de proteger la salud de la población en general y de los grupos de mayor susceptibilidad en particular, por lo cual se incluye un margen adecuado de seguridad. En México, no existen los recursos ni la infraestructura para realizar estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición, ni en animales ni en seres humanos, por lo que las normas se establecieron fundamentalmente tomando en cuenta los criterios y estándares adoptados en otros países del mundo. (INE, 1999. Citado por Fierro [13]).

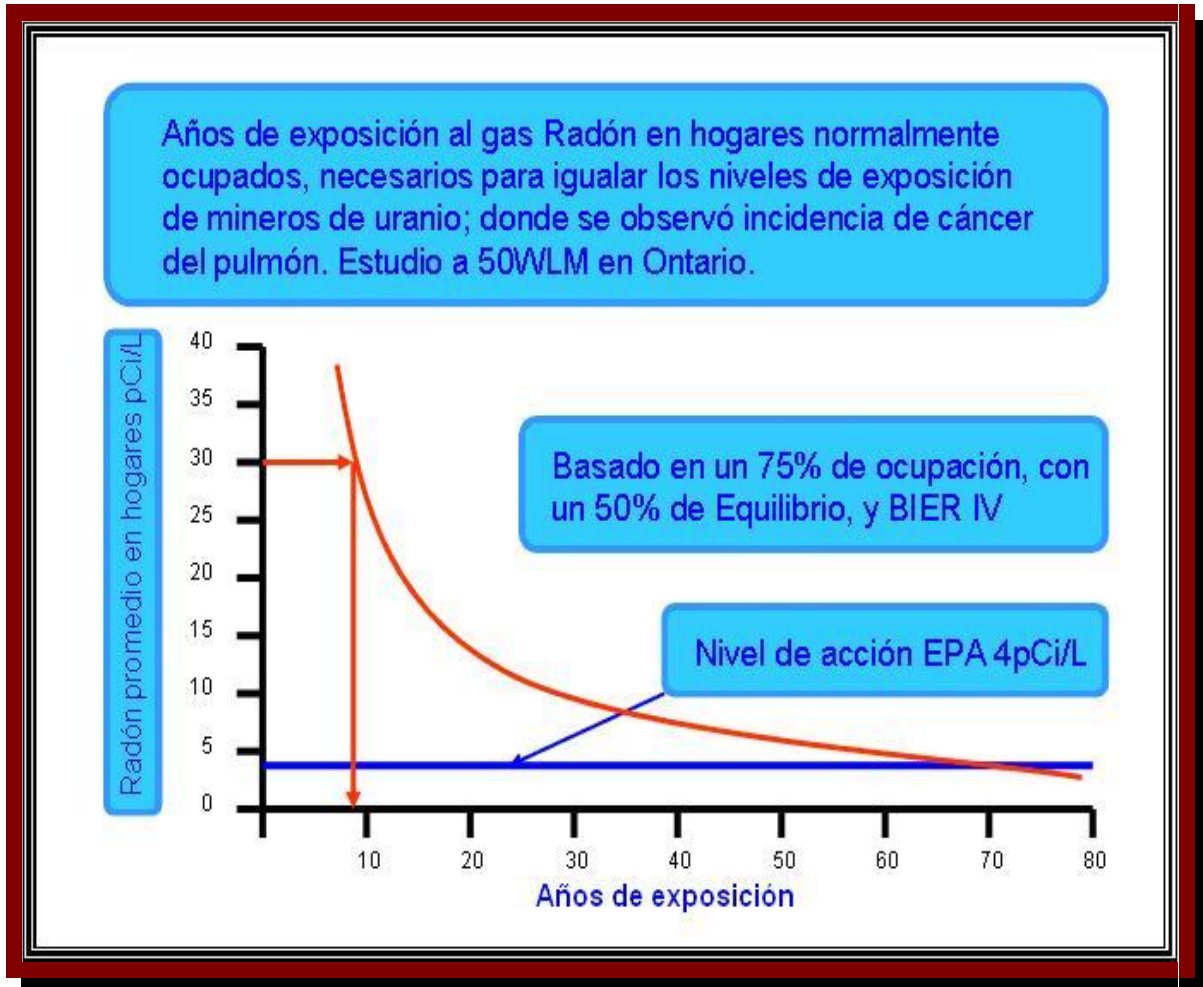
2.1.4.1.2 Guía de referencia para los EU.

La EPA recomienda a los propietarios de los hogares reducir los niveles de radón por arriba de 4pCi/L de aire (148Bq/m³), si se verifica en una medición y su correspondiente

confirmación mediante una segunda medición. Esta acción esta basada en un análisis combinado de análisis de riesgo (en el cual no se conoce el nivel de seguridad) y factibilidad tecnológica.

Porque se asume que no hay un nivel seguro de exposición al radón, la EPA ha investigado un rango de niveles de acción considerando la tecnología disponible para reducir las concentraciones y establecer los niveles de acción. Se puede disminuir los niveles mayores de 4pCi/L de aire (148Bq/m^3) en más de un 98% de las veces. Se sabe que la tecnología disponible es menos capaz para reducir los niveles bajos de radón. Se estima que un 70% a 80% de hogares con elevados niveles de radón pueden ser reducidos a concentraciones de 2pCi/L de aire. Se considera que las mediciones a niveles bajos pueden tener errores significativos entre 2pCi/L y 4pCi/L de aire. Basados en éstas consideraciones la EPA recomienda 4pCi/L de aire como un nivel de acción y pide a los propietarios que deben considerar mitigar en sus hogares si se confirma niveles entre 2 y 4 pCi/L de aire

La figura 9 representa uno de los estudios en mineros para determinar el riesgo de cáncer del pulmón por radón. Indica para un período de aproximadamente 70 años con un nivel de exposición de 4 pCi/L de aire la incidencia de cáncer del pulmón para éste estudio en particular. Las flechas rojas señalan un nivel de 30 pCi/L de aire, en un período de aproximadamente 10 años equivalente en riesgo a 70 años de exposición a 4pCi/L de aire [33].



Fuente: Kladder (1997).

Figura 9. Modelo ajustado a niveles de exposición en hogares para determinar guía de referencia.

2.1.4.1.3 Guía y valores de referencia en otros países.

Dado que el radón está presente de forma natural y a su vez es un cancerígeno humano en el cual no existe un nivel de riesgo cero, el establecimiento de niveles de acción para medidas correctivas es complejo y difícil; como resultado de ello se presentan diferentes niveles dependiendo de la problemática en particular.

En Inglaterra el límite es de 200 Bq/m^3 de aire (5.4 pCi/L de aire) [18].

Para Yugoslavia el nivel de tolerancia es de 400 Bq/m^3 de aire (10.8 pCi/L de aire) [41].

La comunidad Europea recomienda no se supere los 400 Bq/m³ de aire en las viviendas actuales y los 200 Bq/m³ de aire en las nuevas construcciones según la recomendación de la Comisión de Medio Ambiente de la CEE del 21 de febrero de 1990 [18].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció en 1987 su recomendación teniendo en cuenta la exposición a productos descendientes de radón, expresada como concentración equivalente de radón (EER), y proponiendo 100 Bq/m³ de aire EER de promedio anual como valor a reducir y 400 Bq/m³ de aire EER para una actuación inmediata. Las construcciones nuevas no deben superar los 100 Bq/m³ de aire EER.

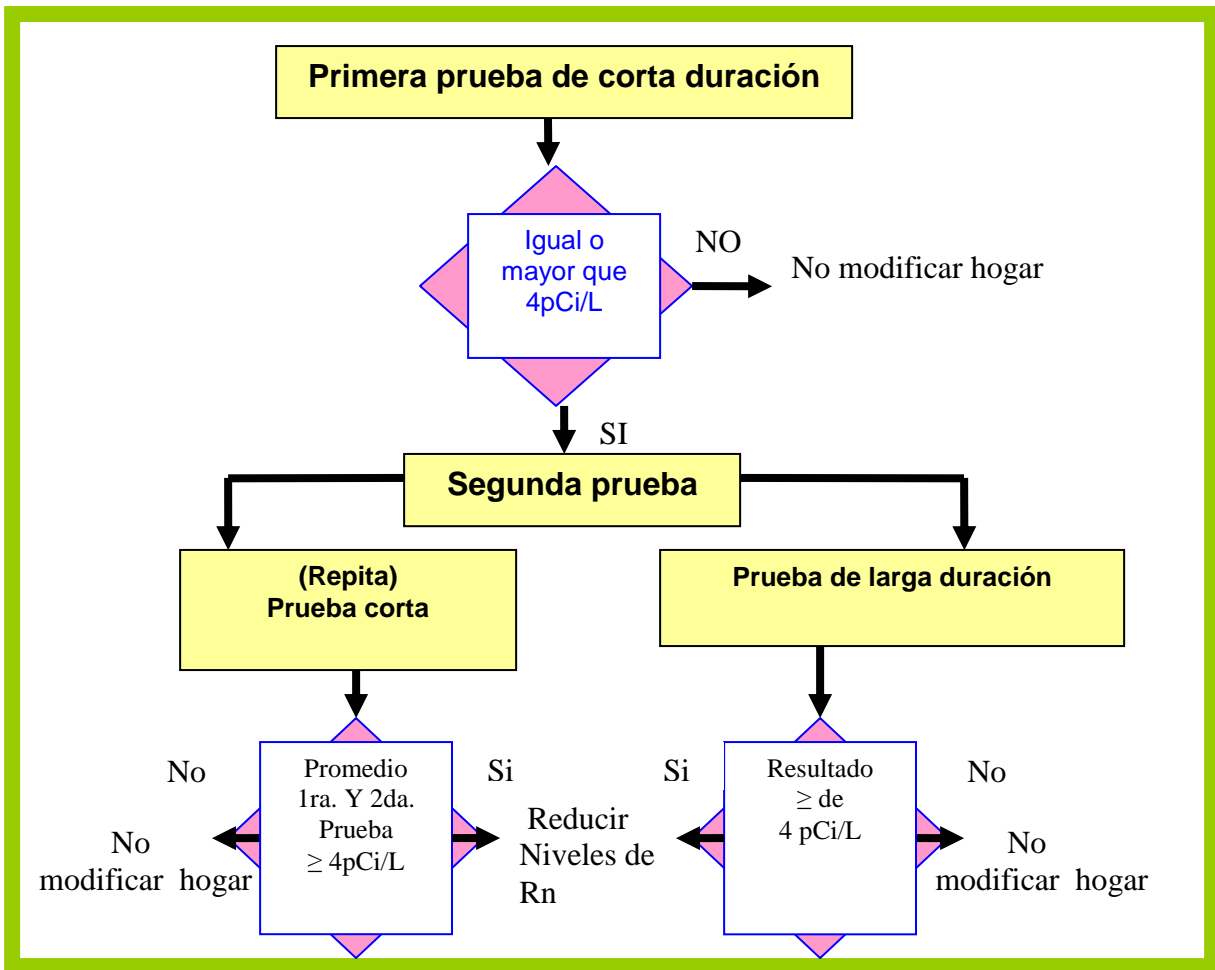
La ICRP adoptó en 1993 una nueva recomendación en la que propone, para los edificios existentes con concentraciones entre 200 y 600 Bq/m³ de aire, actuaciones en función del nivel de concentración. En este mismo documento también se proponen niveles de referencia para puestos de trabajo en los que existe poca ocupación, por ejemplo oficinas, bibliotecas y teatros. Se proponen valores entre 500 Bq/m³ y 1500 Bq/m³ de aire. Estos valores difieren de los establecidos para residencias, ya que como es habitual, se ha considerado que en el ámbito laboral el tiempo de exposición es más corto y se asume una sensibilidad diferente frente a la radiación entre la población general y la trabajadora [39].

2.1.5 Pruebas de detección.

Para determinar la concentración de radón y de sus descendientes en aire pueden utilizarse distintos métodos. La elección entre unos u otros vendrá condicionada por el instrumental disponible, por los costos y por la duración de la medida a efectuar [(prueba corta, 2 a 90 días) o (prueba larga, > 90 días)] [23], [33], [38]. En general la medida de la concentración de radón presente en un ambiente determinado, se basa en

el recuento de partículas alfa emitidas tanto por él, como por sus descendientes de vida corta. Algunos métodos se basan en la detección de rayos gama (γ), y también existen algunas técnicas que detectan radiaciones beta (β).

Es importante en la práctica distinguir si el método utilizado mide la concentración de gas radón o mide la concentración o alguna otra característica de los productos descendientes de radón. En ambos casos las técnicas pueden clasificarse como activas o pasivas según se emplee o no aire forzado para la captación de la muestra [39]. La figura 10 [33] puede ser usada de referencia para interpretar el resultado a partir de una prueba corta, si éste es igual o mayor de 4 pCi/L de aire. La EPA recomienda se aplique una segunda prueba ya sea de corta o larga duración para confirmación. El procedimiento no es útil para otros métodos de medición.



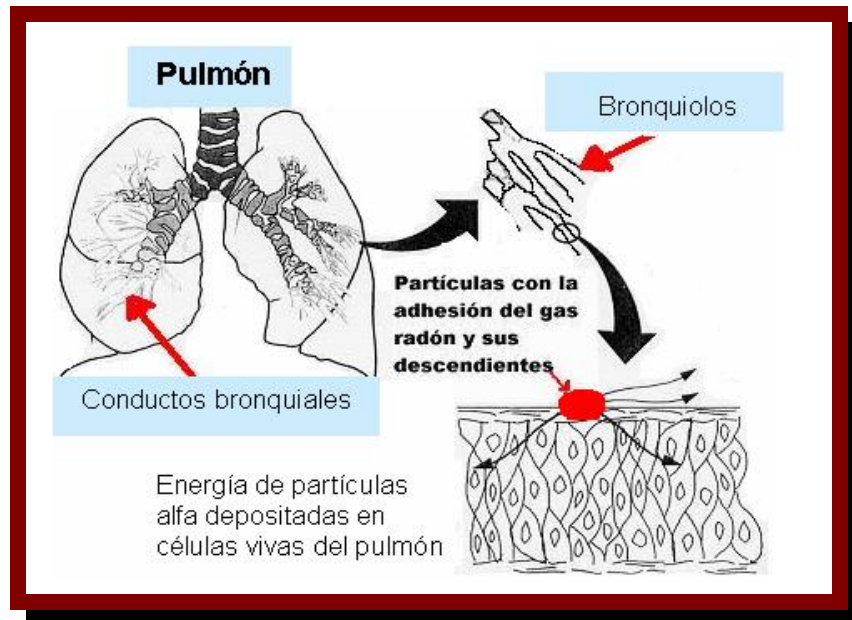
Fuente: Kladder (1997).

Figura 10. Interpretación de resultados en el uso de pruebas de detección.

2.1.6 Efectos sobre la salud.

El radón es considerado cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de acuerdo con la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) por sus siglas en Inglés y la (EPA) de EE.UU., lo clasifican como carcinógeno del Grupo 1 (Carcinógeno humano comprobado) y del Grupo A, respectivamente [39]. Concretamente, el principal efecto adverso derivado de la inhalación de radón y en especial de sus productos de desintegración es el riesgo de cáncer de pulmón [32], [9]. Las partículas (figura 11) [33] radiactivas que el radón emite al descomponerse pueden quedar atrapadas en los pulmones y causar cáncer. A medida que continúa

descomponiéndose en el interior de éstos, las partículas (alfa) despiden pequeñas explosiones de energía que pueden dañar el tejido del pulmón y alterar el DNA [2], [28], [40].



Fuente: Kladder (1997).

Figura11. Localización de partículas ionizantes en el pulmón.

El radón, como gas, no es retenido de forma significativa en el tracto respiratorio. Sin embargo, un 90 % de sus descendientes puede estar unido a partículas de aerosoles presentes en el aire, las cuales, en función de su tamaño, pueden ser retenidas a distintos niveles del sistema respiratorio. Las partículas más pequeñas, la fracción respirable, alcanzarán las zonas más sensibles del tejido bronquial y pulmonar, depositándose allí, juntamente con el 10% restante de los productos de desintegración. La deposición de estas partículas, junto con estos productos genera una fuente de emisión de partículas de alta densidad. En consecuencia, una parte de este tejido recibe una exposición elevada, aumentando la posibilidad de desarrollar un proceso

cancerígeno. La dosis recibida en el pulmón por radiación β o γ es despreciable frente a la debida a las partículas α .

Darby et al., [27] en un estudio interdisciplinario de caso-control realizado para 13 países europeos, que contó con 7,148 casos de cáncer del pulmón (6,310 fueron confirmados mediante diagnóstico microscópico) y 14,208 usados como control; tomando en cuenta hogares que tenían una antigüedad de 5 a 34 años, encontraron que:

- *La relación dosis-respuesta, aparecía lineal sin la evidencia de un umbral y con una relación uniforme significativamente en los niveles por debajo de 200 Bq/m³ (5.4 pCi/L de aire). Un riesgo absoluto para fumadores y recientes ex fumadores fue mucho mayor que los no fumadores.*
- *Después de estratificar los datos del estudio; en edad, sexo, región, y fumadores, se observó un incremento en 8.4 % [95%, CI=3.0%-15.8%, P=0.0007] en el riesgo por cada 100 Bq/m³ de aire. Después de la corrección por la incertidumbre del azar en las medidas seleccionadas de concentración de radón, la relación dosis-respuesta permanecía lineal pero casi doblaba en intensidad a 16 % [95 %, CI = 5 %-31 %] por cada 100 Bq/m³ de aire de concentración media usual estimada.*
- *En Europa se considera que el 9 % de las muertes por cáncer del pulmón son por radón intradomiciliario y un 2 % para todas las muertes de cáncer.*
- *La conclusión del estudio señala que los datos proporcionan una evidencia estadística significativa de la asociación de cáncer de pulmón y el radón*

intradomiciliario, y puede predecirse por extrapolación de estudios en mineros [27], [28].

El informe anual de 1999 sobre los agentes carcinógenos del Departamento de Salud de los Estados Unidos, basado en estimaciones actuales de exposición y de riesgo, menciona que la exposición al radón en casas unifamiliares origina aproximadamente entre 15,400 a 21,800 (dependiendo del modelo de riesgo usado) muertes por cáncer del pulmón cada año, incluidos fumadores y no fumadores, [9]. Estimaciones del Consejo de Investigación Nacional, de la Academia Nacional de Ciencias (NAS) y la EPA de los E.U. según lo publicado en los informes “Efectos Biológicos de la Radiación Ionizante” (BEIR VI, 1998), y del (“gravamen de riesgo del radón en agua potable” 1999), mencionan que la radiactividad es peligrosa en cualquier nivel e incluso para niveles bajos de gas radón. Se considera que mueren alrededor de 11,000 personas cada año por exposición a niveles bajos [9].

2.1.6.1 Riesgo de cáncer del pulmón.

La EPA en su programa Estudio Nacional de Radón Residencial, señala en base al promedio anual de concentración de gas radón intradomiciliario que 1 de cada 15 hogares en los E.U. excede el nivel de 4pCi/L (48 Bq/m³ de aire) y estima un riesgo de cáncer del pulmón para fumadores entre 15 y 20 veces más que para aquellos que no fuman. El riesgo individual para las personas que nunca han fumado y han estado expuestas a un promedio de (4pCi/L de aire) 148 Bq/m³ de aire en sus residencias de por vida, es de 2×10^{-3} . La tabla 3 indica algunos ejemplos de la evaluación del riesgo, información que publica la EPA dentro de las estrategias de informar a la población sobre el peligro que representa el gas radón.

Tabla 3. Riesgo de cáncer del pulmón en hogares por exposición al radón.

Riesgo por radón		
Nivel de Radón en el aire	De 1000 personas expuestas de por vida (fumadores de por vida)	De 1000 personas expuestas de por vida (No fumadores)
20 pCi/L (740Bq/m ³)	Cerca de 135 personas podrían tener cáncer de pulmón.	Cerca de 8 personas podrían tener cáncer de pulmón.
10pCi/L (370Bq/m ³)	Cerca de 71 personas podrían tener cáncer de pulmón.	Cerca de 4 personas podrían tener cáncer de pulmón.
8 pCi/L (296Bq/m ³)	Cerca de 57 personas podrían tener cáncer de pulmón.	Cerca de 3 personas podrían tener el cáncer de pulmón.
4 pCi/L (148Bq/m ³)	Cerca de 29 personas podrían tener cáncer de pulmón.	Cerca de 2 personas podrían tener cáncer de pulmón.
2 pCi/L (74Bq/m ³)	Cerca de 15 personas podrían tener cáncer de pulmón.	Cerca de 1 personas podría tener cáncer de pulmón.
1,3 pCi/L (48.1Bq/m ³)	Cerca de 9 personas podrían tener cáncer de pulmón.	Menos de 1 personas podría tener cáncer de pulmón.
0,4 pCi/L (14.8Bq/m ³)	Cerca de 3 personas podrían tener cáncer de pulmón.	Menos de 1 personas podría tener cáncer de pulmón.

Fuente: EPA. A Citizen's Guide to radón.

2.1.7 Algunos estudios similares en México.

Segovia et al., (2002) [43] realizaron un estudio de medición de fluctuaciones de radón en casas del Estado de México y el Distrito Federal, con la finalidad de evaluar oscilaciones de corta duración. Se encontró un valor promedio de 22 Bq/m³ de aire (0.6 pCi/L de aire) con incrementos esencialmente en la madrugada, concluyendo en su estudio que las máximas concentraciones ocurren cuando la mayoría de las personas permanecen dormidas en sus hogares [10]. Posteriormente midieron en un laboratorio controlado a 36 km. de la ciudad de México a una altitud de 3,000 m, durante dos años las concentraciones de radón, encontrando un valor promedio de 40 Bq/m³ de aire.

En la Tabla 4 se presentan las concentraciones de gas radón, en una compilación de estudios de radón intradomiciliario realizados para 6 países de América Latina, entre ellos México [42]. En ésta se agregan al final de la misma los resultados de las mediciones que hemos realizado en Mexicali para su referencia nacional.

Tabla 4. Niveles de radón en algunas ciudades de México con resultados del estudio para Mexicali.

Ciudad	clave	No. De muestras	Nivel de radón intradomiciliario Bq/m ³		
			Máxima	mínima	promedio
Aguascalientes, Ags.	1	180	130	39	61
Chihuahua, Chih.	1	250	273	42	135
Guadalajar, Jal.	1	250	190	37	117
Hermosillo, Son.	1	250	157	27	91
León, Gto.	1	250	130	20	67
Ciudad de México	1	400	217	15	84
Monterrey, NL.	1	250	280	45	97
Morelia, Mich.	1	250	165	15	45
Pachuca, Hgo.	1	200	187	20	120
Puebla, Pue.	1	250	101	49	72
Querétaro, Qro.	1	180	163	15	61
San Luis Potosí, SLP	1	180	148	15	49
Promedio por clave			280	15	83.25
Zona Metropolitana	2	*	300	55	90
Zona Metropolitana (invierno)	2	*	276	43	86
Promedio por clave			300	43	88
Metepac, Lerma	3	320	40.7	7.1	17.8
Ciudad de México	3	500	103.7	15	14.3
Ciudad de México	3	500	296	15	33.5
Puebla	3	100	59.5	48.4	54
Toluca	3	200	44.7	15	17.9
Zacatecas	3	120	86	14	46
Promedio por clave			103.7	15	30.62
Mexicali, B.C. **	4	94	129.5	3.7	33.3
Mexicali, B.C.**	4	25	125.8	7.4	28.1
Promedio por clave			129.5	3.7	30.7

Fuente: Canoba y otros (2002).

* No fueron proporcionados los datos según la fuente.

** Datos agregados a la tabla para su comparación.

2.2 Contaminación intradomiciliaria.

2.2.1 Causas de la contaminación intradomiciliaria.

El efecto de los contaminantes sobre la salud de las personas es variable y dependerá principalmente del contaminante, de su concentración y del tiempo de exposición [1], [45]. Éste último sería significativo para la salud humana ya que estudios reciente han encontrado que las personas permanecen más del 60% de su tiempo en el interior de sus hogares. **Las causas de la contaminación intradomiciliaria está enmarcada por una industria química que produce un sin número de sustancias contaminantes, muchas de ellas en cantidades considerables -hasta millones de toneladas- pero también las producen en pequeñas cantidades, tal vez uno o dos millones de sustancias [46]. Datos aceptados por la (EPA) y (OMS), mencionan que las sustancias químicas de uso cotidiano para 1980 eran de 63,000 con un incremento anual de entre 1000 y 2000 sustancias [46], [24]. Muchas de estas sustancias son tóxicas para nosotros los humanos, y pueden encontrarse en el interior de nuestros hogares y además podemos entrar en contacto con ellas; a través de los muebles, solventes, insecticidas, humo de tabaco y el uso de combustibles como la leña e hidrocarburos.** Considerando que la contaminación intradomiciliaria, puede tener su origen en el exterior e infiltrarse al interior de los hogares, Caceres et al., [1] mencionan que en muchas de las ciudades del mundo, una fuente importante de la contaminación de interiores lo constituye el aire que se infiltra del exterior, el cual es de mala calidad y puede llegar a contener cientos de sustancias químicas peligrosas para la salud humana. Difícil pensar pues, que las personas que viven en grandes ciudades estarán seguros en sus casas u oficinas ya que muchas de las ciudades del mundo presentan altos niveles de contaminación originado por el

desarrollo industrial, desarrollo tecnológico, crecimiento demográfico y el uso de nuevos métodos en la agricultura tecnificada; factores que contribuyen a que se rebasen los parámetros de seguridad que establecen las Normas Oficiales de concentración de los contaminantes en el aire [45]. Ejemplos, es la ciudad de México, “según expertos tiene el peor aire del mundo. La ciudad excede los límites seguros de ozono 320 días al año, y las cifras a veces están 400 por ciento por arriba de los niveles máximos permisibles [15]” **La ciudad de Mexicali en la cual se reportan excedentes en los estándares de calidad del aire en monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), y partículas menores a diez micrómetros de diámetro (PM10), la convierten en la tercer ciudad más contaminada del país y la segunda más contaminada por PM10 según Reyna et al., (2001) en un estudio de series de tiempo.**

2.2.2 Efectos de los contaminantes a la salud.

Los contaminantes generados dentro de las habitaciones se suman con aquellas que penetran desde el exterior, los gases se dispersan y se depositan como polvo o entran a los pulmones, afectando o agravando enfermedades cardiopulmonares o provocando malestares y enfermedades a largo plazo [7].

Por otro lado las pinturas, lacas y pegamentos cuando son expuestos, éstos despiden compuestos orgánicos volátiles tóxicos que provocan reacciones en las personas como dolor de cabeza, vómito, alergias y desmayos, una vez que son inhalados.

-Tabaco-

Para el caso de humos del tabaco, éste es una mezcla dinámica y compleja de más de 4000 productos químicos que se encuentran tanto en su fase vapor como en partículas. Se sabe que muchos de estos compuestos son agentes tóxicos y cancerígenos, las

personas que fuman no solo están expuestas, si no también las personas aledañas a éstos (fumadores de segunda mano). Se ha establecido firmemente que la exposición al humo del tabaco por vía activa origina cáncer del pulmón y otros cánceres; enfisema pulmonar y otras obstrucciones pulmonares crónicas; además de enfermedades cardiopulmonares. La EPA estima que unas 3000 personas no fumadoras mueren por esa causa.

-Partículas Suspendidas Totales (PST)-

En el caso de contaminación por las PST puede generar a corto y a largo plazo una disminución de la función pulmonar, contribuyendo a la presencia de enfermedades crónicas respiratorias y a la muerte prematura [14]. Estas se clasifican en: $PST < 50\mu m$, $PM_{10} < 10\mu m$ y $PM_{2.5} < 2.5\mu m$ de diámetro todas ellas, de las cuales las dos últimas son las que más daños causan a la salud ya que tienen un efecto sinérgico sobre el aparato respiratorio ya que absorben gases y agentes microbiológicos (virus, bacterias, hongos, polen, etc.) en su superficie y lo transportan al pulmón.

-Monóxido de Carbono-

El monóxido de carbono (CO) es un asfixiante, es un gas producto de la combustión incompleta del carbono, no es posible verlo, probarlo, ni olerlo. Sin embargo este gas es mortal, puede enfermar y matar a las personas. Los síntomas de envenenamiento se parecen al de la gripe; cuando la concentración es muy alta se sufre daño cerebral, pérdida de la vista o del oído o tienen problemas del corazón [44]. Sus síntomas derivan de su afinidad con la hemoglobina al formar carboxihemoglobina (COHb) e interrumpir el transporte de oxígeno en la sangre.

-Plomo-

El plomo (Pb) es un metal tóxico sin función fisiológica en el organismo. Se caracteriza por producir daños al sistema nervioso central, renal, reproductivo y gastrointestinal. Por vía oral el grado de absorción aumenta si existe desnutrición. Se ha descrito que existen alteraciones en la síntesis de hemoglobina y una mayor susceptibilidad al desarrollo de anemia en la población infantil expuesta al Pb.

-Otros contaminantes-

- Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).
- Biocontaminantes (Hongos, Bacterias, Nematodos, Ácaros, Pelo de mascotas, etc.).
- Asbestos.
- Metales pesados.
- Ozono.
- Pesticidas.

Existe una lista interminable de sustancias que son peligrosas para la salud, las descritas aquí, está confirmado pueden estar presentes en nuestros hogares. La tabla 5 establece la relación del contaminante y su efecto en la salud, señalando la población expuesta y el grupo de riesgo [16].

Tabla 5. Relación entre algunos contaminantes y la salud.

contaminante	POBLACIÓN EXPUESTA Y GRUPO DE RIESGO	EFFECTOS POTENCIALES EN LA SALUD
*ozono (O ₃) en ppm	Adultos y niños	Reducción en la función pulmonar. Inflamación pulmonar. Irritante a los pulmones ojos y nariz Asociado a los ataques cardiacos.
*Monóxido de Carbono (CO) en ppm	Adultos	Suministro reducido de oxígeno. Reducción en la capacidad laboral, manual y mental.
	Pacientes con anemia	Riesgo mayor de problemas cardiovasculares. Angina de pecho.
*Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Adultos	Irritación en los pulmones. Baja resistencia a infecciones pulmonares. Incremento a la sensibilidad de las alergias.
	Niños	Función pulmonar reducida. Riesgo mayor de infecciones respiratorias.
*Dióxido de azufre (SO ₂)	Adultos con enfermedades Cardiovasculares, enfermedades crónicas; niños y ancianos	Incremento en enfermedades respiratorias. Incremento en hospitalización. Función respiratoria reducida.
*PST PM10 PM2.5 en µg/m ³	Niños	Incremento en enfermedades respiratorias Función pulmonar reducida.
	Asmáticos	Incremento de la agudización del asma.
	Adultos	Afecta la capacidad respiratoria. Tejido pulmonar dañado. Causa cáncer y muerte prematura.
*Plomo (Pb)	Adultos	Afecta el riñón, hígado, sistema nervioso y otros órganos.
	Niños	Daño al sistema nervioso central y lento crecimiento.
Ruido		Incremento en la presión arterial, ritmo cardiaco, estrés, colesterol.
**Radón (Rn)		Causa cáncer pulmonar.

Fuente: * Dirección General de Salud Ambiental. SSA 1999.

** EPA

ppm = partes por millón.

2.3 Estadística.

2.3.1 Conceptos generales.

Una manera de definir la estadística es considerándola una serie ordenada de métodos que se ocupan de la recolección, organización, presentación, análisis e interpretación de datos numéricos [29], [30]. Se acostumbra dividirla, según el propósito que se persigue, en descriptiva e inferencial. La estadística descriptiva se utiliza para describir la frecuencia y distribución de las características o variables del objeto en estudio, en

tanto que la estadística inferencial se ocupa del proceso metódico para obtener conclusiones válidas de una muestra, con respecto a la población, de manera tal que se le puede considerar representativa de ella. Para entender cuándo y cómo se usa una u otra, es preciso entender y definir algunos conceptos básicos de la estadística [26].

A diferencia de la estadística paramétrica, en la que el investigador aspira encontrar en las características de la muestra que ha seleccionado, aquellas que distinguen a la población de donde ésta procede, hay dos formas de actuar: 1) estimar el valor de un parámetro a partir de la muestra, y 2) contrastar si su hipótesis es confirmada en la muestra, poniendo a prueba la hipótesis de las diferencias nulas (H_0), la que de no confirmarse se explica por la hipótesis alterna (H_1), que acepta que esas diferencias existen dentro de ciertos márgenes de probabilidad: cuando son significativas (a nivel de una $p < 0.05$ o < 0.001) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

En estadística se definen como variables a los atributos, rasgos o propiedades de un grupo de elementos que toman diferentes valores, magnitudes o intensidades. En el proceso de medición de ellas se les asignan números o códigos de observación. La manera más aceptable para ordenar y cuantificar una variable, propuesta por Stevens, citado por [29], es dividir las en cualitativas (según su calidad o atributo) o cuantitativa (de acuerdo a la magnitud de su medición). Cuando la variable cualitativa no tiene punto de comparación como el color de los ojos (café, azul, verde, negro) se le denomina variable cualitativa nominal, cuando hay un determinado orden como clase social (alta, media baja), duración de una enfermedad (aguda, subaguda, crónica), orden en la familia (primero, segundo, tercero, etc.) se le llama variable cualitativa ordinal. Cuando la variable cuantitativa sólo se puede medir en valores enteros como; el número de alumnos, el número de partos, el número de empleados, se le denomina

variable cuantitativa discreta, discontinua o de intervalo, mientras que si la variable se puede expresar en fracciones, como peso al nacimiento (3.460 g) o estatura (51.3 cm), se les denominan variables cuantitativas continuas o de razón y puede ser que los datos tengan una distribución normal (sesgo de -0.5 a + 0.5 y curtosis de 2 a 4).

Desde sus inicios, las computadoras se han utilizado en el manejo de los datos y en ellas se puede hacer uso de las técnicas estadísticas, por lo que hay paquetes estadísticos entre los cuales el SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) es, quizás, el más usado.

El procedimiento estadístico que se usará para el análisis depende de: 1) El tipo de medida de la variable a analizar, 2) La distribución que caracteriza a las mediciones de las variables, la homogeneidad de las varianzas en los grupos de ellas, el impacto de los residuos y el tamaño de la muestra, 3) El poder de la prueba que se usará es decir, la capacidad de aceptar o rechazar, correctamente, la hipótesis nula.

Cuando se pretende probar una hipótesis respecto a uno o más parámetros de una población que tiende a una distribución normal, las pruebas usadas son las de la estadística paramétrica, como la t de Student. Por lo contrario, si los procedimientos estadísticos no requieren plantear inferencias acerca de los parámetros de la población (su media y dispersión) se le conoce como no paramétricos, o de distribución libre (ya que no se hacen suposiciones acerca de la distribución de la población de donde procede la muestra. Con las pruebas no paramétricas se puede trabajar con muestras pequeñas de datos categóricos u ordinales, independientemente de la distribución de las muestras que se desea contrastar. Moses (1952) considera que las pruebas no paramétricas: 1) Son más fáciles de aplicar, 2) Son aplicables a datos jerarquizados, 3) Se pueden usar cuando dos series de observaciones provienen de distintas

poblaciones, 4) Son la única alternativa cuando el tamaño de la muestra es pequeño, y 5) Son útiles a un nivel de significancia previamente especificado.

En términos generales, se puede considerar que aunque la potencia de las pruebas estadísticas paramétricas es mayor que la que ofrecen las pruebas no paramétricas, ya que con ellas es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando ésta realmente es falsa (error de tipo II) es conveniente comentar que el adecuado tamaño de muestra es un requisito indispensable para aumentar la eficacia de una prueba: a medida que aumenta el tamaño de muestra, disminuye la posibilidad de cometer el error de tipo II.

2.3.2 Prueba de Kolmogorov – Smirnov para una muestra.

Esta prueba se usa para definir si el grado de ajuste de los datos a una distribución teórica: que puede ser con tendencias a la normal, a la de Poisson o exponencial. La prueba Z de Kolmogorov-Smirnov (K-S), se computa a partir de la diferencia mayor (en valor absoluto) entre la distribución acumulada de una muestra (observada) y la distribución teórica. La bondad de ajuste de la muestra permite suponer de manera razonable, que las observaciones pudieran corresponder a la distribución específica.

La contribución de Kolmogorov corresponde al problema relacionado con una sola muestra, mientras que la de Smirnov se ocupa de responder al problema respecto a dos muestras, tratando de probar la hipótesis de igualdad entre las poblaciones de origen de una con respecto a la de la otra. La prueba de K-S no precisa que las observaciones sean agrupadas (como es el caso de la Ji cuadrada). Se usa en cualquier muestra de cualquier tamaño. Mientras que la Ji cuadrada requiere muestras con un tamaño mínimo. Esta prueba no se debe usar cuando los parámetros tienen que ser estimados a partir de la población y es útil, especialmente cuando se conoce la estructura en que subyace la distribución de la variable en estudio. Es más poderosa

que la Ji cuadrada, especialmente cuando el tamaño de la muestra es pequeño y el nivel de medición de la variable es ordinal. Se considera más poderoso que la Ji cuadrada y que la prueba binomial, requiere que la variable dependiente sea una variable cuantitativa continua.

2.3.3 Prueba de dos muestras independientes.

Las pruebas de dos muestras independientes comparan dos grupos de casos con una variable. Hay disponibles cuatro pruebas para ver si las dos muestras independientes (grupos) vienen de la misma población y son la U de Mann-Whitney, la Z de Kolmogorov-Smirnov, las reacciones extremas de Moses y la prueba de rachas de Wald-Wolfowitz.

La U de Mann-Whitney es la más popular de las pruebas para el estudio de dos muestras independientes. Es equivalente a la prueba de suma de rangos de Wilcoxon y a la prueba de dos grupos de Kruskal-Wallis. Es la alternativa no paramétrica a la comparación de dos promedios independientes a través de la t de Student. Se utiliza cuando se desea efectuar la comparación de dos grupos en quienes se les ha medido una variable cuantitativa continua que no tiene una distribución normal o cuando la variable es de tipo cuantitativa discreta. Tiene tres asunciones: 1) La variable independiente es dicotómica y la escala de medición de la variable dependiente es al menos ordinal, 2) Los datos son de muestras aleatorias de observaciones independientes de dos grupos independientes, por lo que no hay observaciones repetidas, 3) La distribución de la población de la variable dependiente para los dos grupos independientes comparte una forma similar no especificada, aunque con una posible diferencia en las medidas de tendencia central. Las observaciones de ambos grupos se combinan y acomodan, con el rango promedio en el caso de pares. El

número de pares debe ser pequeño en relación al número de total de observaciones. Si las poblaciones son idénticas en situación, los rangos deben mezclarse al azar entre las dos muestras. Se calcula el número de veces que una cuenta del grupo 1 precede una cuenta del grupo 2 precede una cuenta del grupo 1. La U de Man-Whitney es el número más pequeño de estos dos números.

Alternativas. La alternativa paramétrica es la t de Student para muestras independientes, que es más poderosa que la U de Mann-Whitney cuando se llenan todas las asunciones, mientras que si los datos no se distribuyen normalmente, el tamaño de muestra es pequeño, los grupos son de diferentes tamaño. La U de Mann-Whitney es más poderosa, sobre todo cuando las colas de la distribución son grandes y hay la presencia de residuales. Una alternativa no paramétrica que puede ser utilizada, sobre todo si las colas de la distribución no son similares es la prueba de la mediana.

La prueba Z de Kolmogorov-Smirnov está basada en la diferencia absoluta máxima entre la función de distribución acumulada observada para ambas muestras.

Cuando esta diferencia es significativamente grande, las dos distribuciones son consideradas diferentes.

La prueba de las reacciones extremas de Moses 20 asume que la variable experimental afecta algunos sujetos en una dirección y otros sujetos en la dirección opuesta. Se prueban las reacciones extremas comparadas a un grupo de control. Esta prueba se enfoca en la distribución del grupo de control y es una medida de cuantos valores extremos de grupo experimental influyen la distribución cuando se combinan con el grupo de control.

La prueba de rachas de Wald-Wolfowitz es una alternativa no paramétrica para contrastar si dos muestras con datos independientes proceden de poblaciones con la misma distribución. Combina y acomoda las observaciones de ambos grupos.

Si las dos muestras son de la misma población, los dos grupos deben distribuirse al azar a lo largo de la clasificación jerárquica. Si hay pocas rachas habla de que se tratan de grupos diferentes mientras que, si hay muchas rachas no hay diferencias significativas en la distribución de los dos grupos.

La prueba Z de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de rachas de Wald- Wolfowitz son pruebas más generales que detectan diferencias en la localización y formas de las distribuciones.

2.3.4 Recomendaciones para las pruebas.

Cuando se usan variables cuantitativas continuas y la media aritmética y desviación estándar de las muestras tienden a tener una distribución normal, con varianzas similares (homogeneidad), y el tamaño de las muestras es suficiente (mayor a 30 casos) se deben utilizar las pruebas estadísticas paramétricas. En caso de que no se cumplan estos requisitos, y sobre todo cuando la normalidad de las distribuciones de la variable en estudio esté en duda y el tamaño de la muestra sea menor a once casos, el empleo de las pruebas no paramétricas está indicado.

Cuando una o varias muestras es menor a 11 casos, la potencia estadística de las pruebas paramétricas y no paramétricas es similar, a medida que aumenta el tamaño de las muestras las pruebas paramétricas aumentan su potencia, por lo que las pruebas no paramétricas están indicadas cuando la muestra sea menor de once o bien cuando hay una muestra mayor pero no se cumplen los requisitos de aplicabilidad de las pruebas paramétrica.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Ubicación del sitio de estudio.

Mexicali se encuentra ubicada en la parte Noreste de la península de Baja California (Figura 12), siendo sus coordenadas geográficas: 32°39' de Latitud Norte y 115°28' de Longitud Oeste, a una altura promedio de 03 metros sobre el nivel del mar. (Anuario del Centenario Estadística Municipal, [2003]) [6].



Fuente:MapPoint 2004.

Figura 12. Ubicación geográfica de Mexicali.

3.2 Ubicación de las unidades de análisis.

Se utilizó un mapa actualizado al año 2004 de la ciudad de Mexicali, B.C. y cuya fuente es el municipio de la ciudad; este proporciona la distribución y división por colonias así como la numeración de cada manzana, en él se ubicaron los hogares, previamente seleccionadas mediante recorridos de campo y sujetos a la participación voluntaria de sus dueños que accedieron a colaborar en el estudio (muestra **no probabilística de sujetos voluntarios**). Posteriormente se usó el programa *Autodesk Map 5.0* para ubicar la distribución de los **hogares** en formato electrónico. En la figura 13 se observan los **25 puntos** de ubicación de los hogares muestreados, representados con color azul los que están ubicados en colonias con el servicio de pavimentación y color rojo los ubicados en colonias que no cuentan con el servicio (**Estrato: Pavimentado-No pavimentado**) y una línea divisoria arbitraria (amarilla) de norte a sur, que secciona a la ciudad en dos partes. Lo anterior se consideró para establecer un análisis de contraste estadístico y observar si esta condición tiene efecto en los niveles del gas. Se definió la selección de los hogares tratando de obtener la cobertura más amplia posible (**comportamiento espacial**) con la finalidad de observar los niveles de gas radón (Rn^{222}) que puedan indicar básicamente las posibles áreas de incidencia del gas.

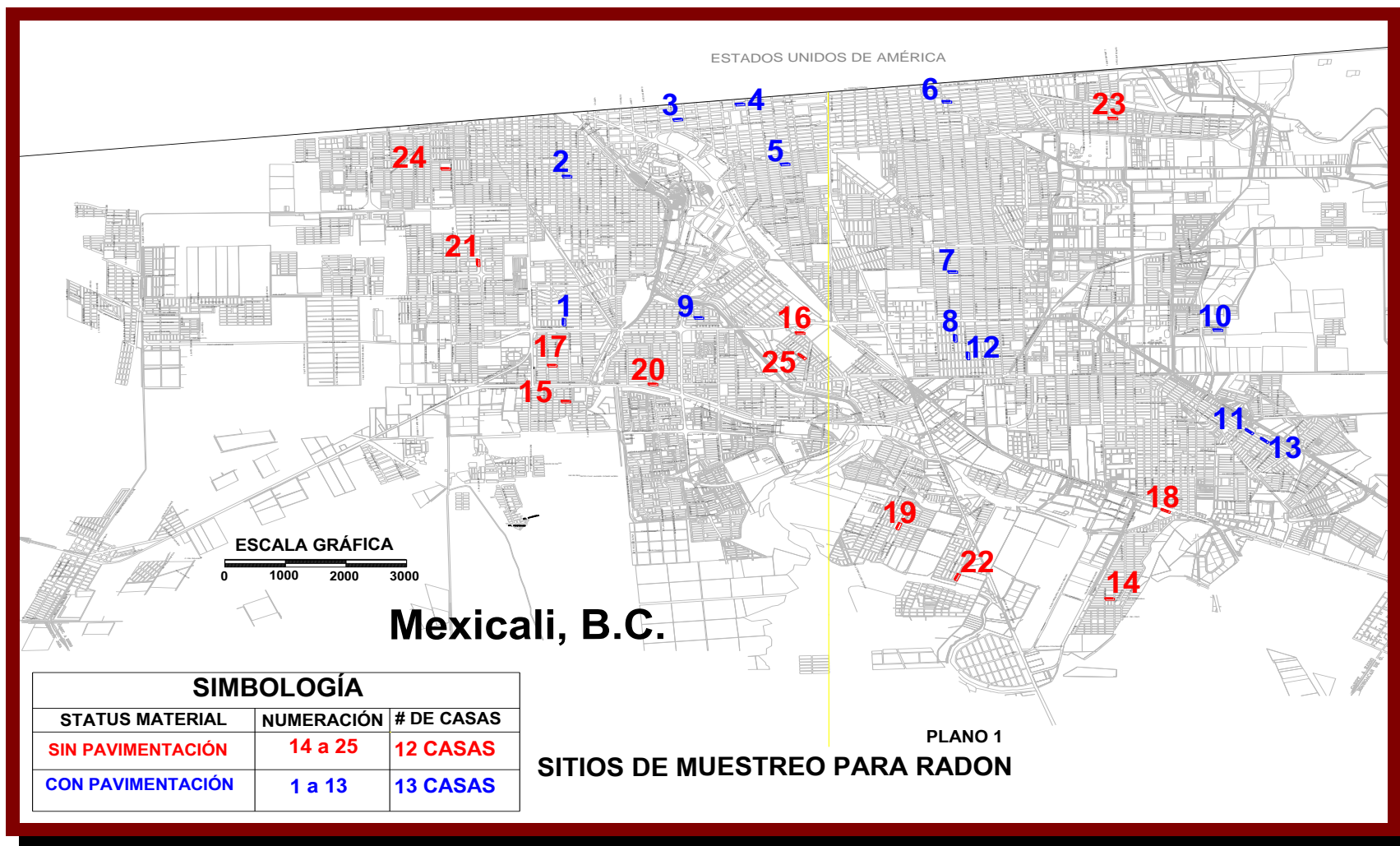


Figura 13. Ubicación de los puntos de muestreo.

3.3 Instrumentos de medición.

Para determinar la concentración de radón se usó un **método corto, pasivo-integral de carbón activo** que permite obtener observaciones promedio durante la duración de la prueba. El **kit** de detección con carbón activado y las **instrucciones de la prueba** (véase Apéndice) se les proporcionó a los responsables de los hogares. Por las características del método, en la cual se recomienda que las casas deben permanecer cerradas durante la prueba, se consideraron principalmente los meses de **enero a marzo**, los más recomendable para facilitar el procedimiento, una vez terminada la prueba en el hogar el kit es recolectado y enviado para su análisis a través del correo norteamericano al laboratorio “Energía Alfa”, en Carrollton, Texas. A su vez el laboratorio elabora un reporte de los resultados (véase apéndice) y los envía a una cuenta de correo electrónico que le fue proporcionada por los responsables del proyecto.

Se diseñó una **encuesta** (véase apéndice) para recopilar la mayor información posible de las familias y la vivienda, de tal forma que pueda generar una idea sobre la dinámica de los moradores, fuentes de contaminación y la percepción sobre la contaminación intradomiciliaria. El análisis de las muestras se procesó con el Paquete Estadístico Para las Ciencias Sociales (**SPSS**) y **EXCEL**, utilizando para ello tablas de contingencias, análisis exploratorio, y estadísticas de contraste y descriptivos.

3.4 Estudio adicional de gas radón. (Efecto del radón en los casos de muerte por cáncer pulmonar en la población de Mexicali, Baja California, México).

Reyna y López, (2002) [3] midieron las concentraciones de radón en 94 hogares de la Ciudad de Mexicali, los datos obtenidos fueron usados con un análisis desde un punto de vista descriptivo epidemiológico.

Con la finalidad de ampliar la comprensión de la situación del gas radón en la ciudad, los niveles observados en 94 mediciones, se comparan con el estudio actual y son tratados con un análisis exploratorio, de contraste y niveles de referencia.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Desarrollo del estudio.

Los resultados se presentan en dos etapas: La primera se basa en la ubicación y medición de los puntos de muestreo para 25 hogares de la ciudad de Mexicali. Los datos obtenidos son analizados mediante la estadística descriptiva, histogramas; y un análisis exploratorio que permite observar el grado de dispersión de los datos, el grado de asimetría de la distribución, los valores atípicos y extremos; presentándose en tablas para ser comparados en forma paralela con los datos obtenidos en la medición de radón que se llevó a acabo en el año 2000. **Se aplicó el análisis de contraste usando la estadística no paramétrica**, para los estratos pavimentado y no pavimentado; estratos Este y Oeste; para el tiempo de permanencia de las personas en su casa y se desarrollaron gráficos de barras con los niveles de referencia que utiliza la EPA en los Estados Unidos.

La segunda etapa presenta los resultados del instrumento aplicado a los 25 hogares, para recopilar información de los potenciales contaminantes en los hogares.

4.2 Resultados de las concentraciones de gas radón.

La tabla 6 muestra los resultados de los promedios por estrato (**0.731 pCi/L de aire para el estrato pavimentado y 0.792 pCi/L de aire para el estrato no pavimentado**) además del promedio total (**0.760 pCi/L de aire**).

Tabla 6. Concentración de gas radón (Rn^{222}) en pCi/L de aire en Mexicali;B.C.

No.	Estrato*	Colonia	Concentración pCi/L de aire
1	P	Villa Fontana	0.8
2	P	Pueblo Nuevo	0.7
3	P	Colonia Nueva	0.2
4	P	Segunda. Sección	0.2
5	P	Burócrata	0.4
6	P	Compuertas	1.0
7	P	Independencia	0.2
8	P	Carvajal	0.4
9	P	Jardines del Lago	3.4
10	P	Villa del Palmar	0.2
11	P	Villa Verde	1.2
12	P	Carvajal	0.6
13	P	Villa Verde	0.2
Promedio para estrato pavimentado			0.731
14	NP	Cipres	0.2
15	NP	Pedro Moreno	0.5
16	NP	Hidalgo	1.2
17	NP	División del Norte	0.4
18	NP	Emiliano Zapata	1.0
19	NP	Solidaridad Social	0.3
20	NP	Televisora	0.2
21	NP	Urbano Orizaba	2.3
22	NP	Rivera Campestre	0.8
23	NP	Flores Magon	0.3
24	NP	Ampliación Lucerna	0.8
25	NP	Hidalgo	1.5
Promedio para estrato no pavimentado			0.792
PROMEDIO TOTAL			0.760

*NP: No pavimentado P: Pavimentado

La figura 14 muestra las concentraciones de radón; los puntos rojos (12 puntos) corresponden a las concentraciones ubicadas en las colonias sin el servicio de pavimentación y los puntos azules (13 puntos) corresponden a hogares ubicados en colonias con servicio de pavimentación; **no se observaron diferencias significativas entre éstos dos estratos** usando la estadística no paramétrica con la prueba de dos muestras independientes de Mann-Whitney U:

[95%, Sig. = 0.349, Ho: F1=F2]. Se segmentó la ciudad en dos partes (línea central amarilla), sección Este y Oeste (Dado que visualmente se observan concentraciones mayores en la sección Oeste, se aplicó la prueba de contraste en donde **no se observó diferencia significativa entre éstos estratos** usando la prueba de Mann-Whitney U: [95%, Sig.=0.596, Ho: F1=F2].

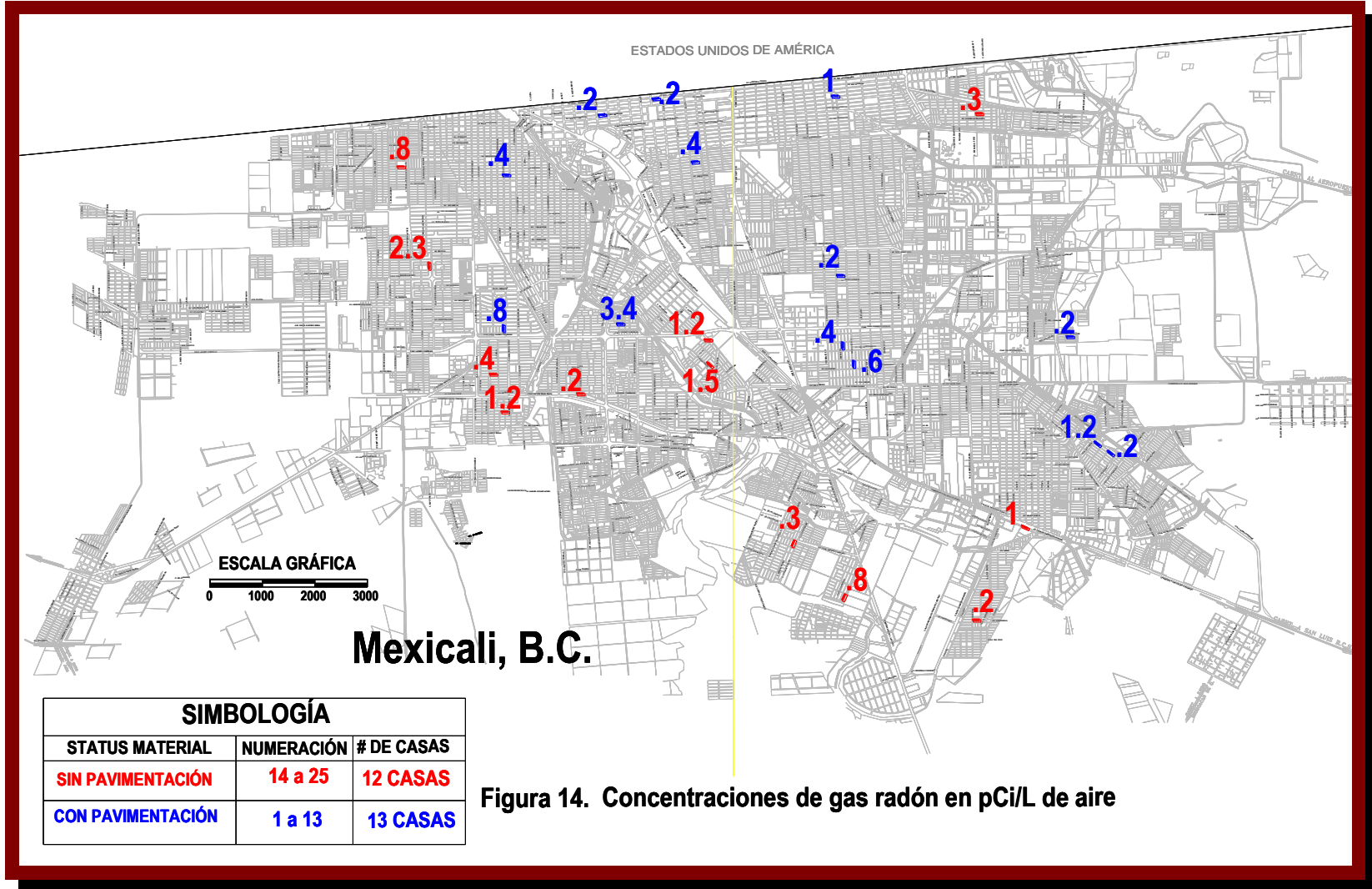


Figura 14. Concentración espacial de 25 muestras de gas radón

La tabla 7 muestra el estudio con las concentraciones de radón para el año 2000 [3] y el promedio total (**0.90 pCi/L de aire**); la colonia donde se ubica el hogar muestreado y el servicio de pavimentación o sin él, **no se observaron diferencias significativas entre éstos dos estratos [95%, Sig.=0.198, Ho: F1=F2]** (estadística no paramétrica: dos muestras independientes de Mann-Whitney U). Como se observa no se cuenta con 27 datos sobre el servicio de pavimentación, los cuales son excluidos del análisis de contraste.

Además en éstos hogares se obtuvieron datos sobre el tiempo de residencia; el sexo, la colonia y los fallecimientos por cáncer del pulmón acontecidos en los hogares. Los niveles radón fueron contrastados con los estratos de fallecidos-no fallecidos, encontrándose que: **No existen diferencias significativas entre éstos dos estratos por los niveles de gas radón [95%, Sig.=0.061, Ho: F1=F2]**.

Tabla 7. Niveles de concentración de gas Radón (Rn^{222}) en pCi/L de aire, ubicados por estratos (año: 2000).

No.	Estrato	Colonia	Concentración pCi/L de aire	Servicio	T. R. Años
1	H/NOFA/NOFU1	Las Flores	1.2	P	15
2	H/NOFA/NOFU2	Santa Mónica	0.8	P	14
3	H/NOFA/NOFU3	Infonavit Cucapah (5ta. Secc.)	0.3	P	8
4	H/NOFA/NOFU4	Conj. Urbano Esperanza	1.0	NP	7
5	H/NOFA/NOFU5	San Pedro Residencial	0.2	P	5
6	H/NOFA/NOFU6	Las Delicias	0.6	*	3
7	H/NOFA/NOFU7	Reforma	0.4	*	10
8	H/NOFA/NOFU8	Hacienda de Lourdes	0.4	P	8
9	H/NOFA/NOFU9	Primero de Diciembre	1.2	*	8
10	H/NOFA/NOFU10	Sonora	0.5	*	7
11	H/NOFA/NOFU11	Ampliación Lucerna	0.7	NP	15
12	H/NOFA/NOFU12	Villas del Rey (1ra. Secc.)	1.5	P	2
13	H/NOFA/NOFU13	Primero de Diciembre	1.0	*	19
14	H/NOFA/NOFU14	González Ortega	0.6	NP	12
15	H/NOFA/NOFU15	González Ortega	0.6	NP	12
16	H/NOFA/NOFU16	Villa fontana	1.3	P	2
17	H/NOFA/NOFU17	Pueblo Nuevo	0.4	P	5

18	H/NOFA/NOFU18	Independencia	0.8	P	1
19	H/NOFA/NOFU19	Independencia	0.9	P	1
20	H/NOFA/NOFU20	Lázaro Cárdenas	0.3	P	8
21	H/NOFA/NOFU21	Hidalgo	0.2	NP	8
22	H/NOFA/NOFU22	Villas del Rosario	0.8	NP	3
23	H/NOFA/NOFU23	Villa Florida	0.2	NP	5
24	H/NOFA/NOFU24	ProHogar	0.3	P	8
25	H/NOFA/NOFU25	Villas del Rey (3ra. Secc.)	0.5	P	1
26	H/NOFA/NOFU26	Nuevo Mexicali	0.4	P	4
27	H/NOFA/NOFU27	Maestros Federales	0.6	P	2
28	H/NOFA/NOFU28	Zaragoza	0.7	P	3
29	H/NOFA/NOFU29	Conj. Urbano Esperanza	0.5	NP	8
30	H/NOFA/NOFU30	San Luis	0.6	P	40
31	H/NOFA/NOFU31	Baja California	0.7	NP	1
32	H/NOFA/NOFU32	Calafia	0.4	*	1
33	H/NOFA/NOFU33	González Ortega	1.8	NP	23
34	H/NOFA/NOFU34	Benito Juárez	0.8	P	1
35	H/NOFA/FU1	Carvajal	0.4	P	1
36	H/NOFA/FU2	Residencias	1.0	P	11
37	H/NOFA/FU3	Independencia	0.3	P	1
38	H/NOFA/FU4	Aurora	1.6	P	24
39	H/NOFA/FU5	Nacozarí	3.0	P	6
40	H/NOFA/FU6	Venustiano Carranza	1.6	NP	12
41	H/NOFA/FU7	Cuauhtémoc Sur	1.1	P	20
42	H/FA/NOFU1	Alamitos	3.5	NP	13
43	H/FA/NOFU2	Martha Welch	2.0	P	15
44	H/FA/NOFU3	Unión Res. Lázaro Cárdenas	0.6	*	17
45	H/FA/NOFU4	Unión Res. Lázaro Cárdenas	1.0	*	17
46	H/FA/NOFU5	Luis D. Colosio	0.9	NP	1
47	H/FA/NOFU6	Jardines del Lago	1.3	P	14
48	H/FA/NOFU7	Nueva	0.3	P	15
49	H/FA/NOFU8	Baja California	1.4	NP	40
50	H/FA/FU1	Esperanza	0.7	P	10
51	H/FA/FU2	Infonavit-Montealban	0.5	*	11
52	H/FA/FU3	Industrial	0.6	P	4
53	H/FA/FU4	Alamitos	0.8	NP	13
54	H/FA/FU5	Rivera Campestre	1.1		10
55	H/FA/FU6	Progreso	1.3	NP	9
56	H/FA/FU7	Industrial	0.4	P	16
57	M/NOFA/NOFU1	Cataviña	0.5	*	3
58	M/NOFA/NOFU2	Carvajal	1.6	P	15
59	M/NOFA/NOFU3	Nueva Esperanza	0.8	*	1
60	M/NOFA/NOFU4	Hípico	1.1	P	19
61	M/NOFA/NOFU5	Misión del Valle	0.6	P	6
62	M/NOFA/NOFU6	Magisterial	0.3	P	17
63	M/NOFA/NOFU7	Nuevo Mexicali I	0.3	P	12

64	M/NOFA/NOFU8	Insurgentes Este	0.9	P	25
65	M/NOFA/NOFU9	Nueva	1.5	P	26
66	M/NOFA/NOFU10	Municipio Libre (Virreyes)	1.9	*	10
67	M/NOFA/FU1	Hidalgo	0.8	NP	3
68	M/NOFA/FU2	Zacatecas	0.8	P	18
69	M/NOFA/FU3	Infonavit-Cucapah (1ra. S.)	0.1	*	7
70	M/NOFA/FU4	Villanova	0.2	P	3
71	M/NOFA/FU5	Infonavit-Cucapah (2da. S.)	0,8	*	10
72	M/FA/NOFU1	Pueblo Nuevo	0,5	P	40
73	M/FA/NOFU2	Leandro Valle	1,7	*	11
74	M/FA/NOFU3	Hidalgo	0,6	NP	34
75	M/FA/NOFU4	Nueva	0,6	P	6
76	M/FA/NOFU5	Hidalgo	1,0	NP	8
77	M/FA/NOFU6	Residencias	1,0	P	6
78	M/FA/NOFU7	Fronteriza	1,4	*	5
79	M/FA/NOFU8	Independencia	0,3	P	8
80	M/FA/NOFU9	Anáhuac	0,6	*	6
81	M/FA/NOFU10	Virreyes	0,6	P	10
82	M/FA/NOFU11	González Ortega	1,0	NP	18
83	M/FA/NOFU12	Nacionalista	1,4	*	14
84	M/FA/NOFU13	Anáhuac	0,7	P	12
85	M/FA/FU1	Robledo	0,6	NP	16
86	M/FA/FU2	Nacozari	0,3	P	24
87	M/FA/FU3	Jardines del Lago	0,8	P	20
88	M/FA/FU4	Satélite	2,6	*	8
89	M/FA/FU5	Satélite	2,7	*	8
90	M/FA/FU6	Libertad	0,7	P	6
91	M/FA/FU7	Campestre	0,5	*	12
92	M/FA/FU8	Hidalgo	0,7	NP	20
93	M/FA/FU9	Leandro Valle	2,4	*	8
94	M/FA/FU10	Nueva	1,4	P	1
PROMEDIO TOTAL			0.90		

* datos perdidos.

CLAVES:

M = MUJERES, H = HOMBRE, P = PAVIMENTADA, NP = NO PAVIMENTADA
 FA = FALLECIDO, NOFA = NO FALLECIDO, FU = FUMADORES. TR = TIEMPO DE RESIDENCIA.

Las figuras 15 y 16 muestran los niveles de acción y las recomendaciones, que la EPA emite para disminuir los niveles de radón. No se observan valores iguales o mayores a los 4pCi/L de aire. Existen otros valores de referencia en los países europeos, tal es el

caso de Inglaterra en donde el límite es de 5.4 pCi/L de aire (200Bq/L de aire); éste nivel no es referenciado para estas figuras.

Los niveles observados en ambos estudios pueden considerarse con un nivel de riesgo bajo, éstos pueden ser comparados en la tabla 3 y son cotejados en la tabla 4 con niveles observados en estudios para otras ciudades de la República Mexicana.

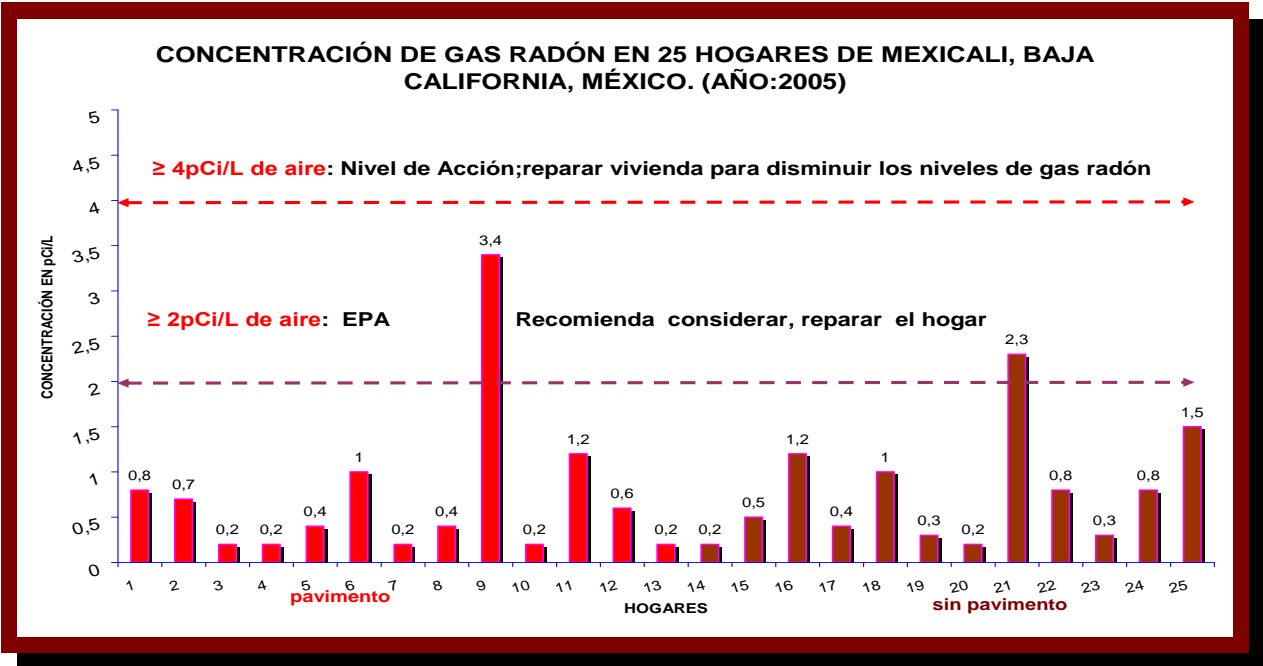


Figura 15. Concentración de gas radón y guía de referencia para modificar los hogares según EPA (datos del 2005).

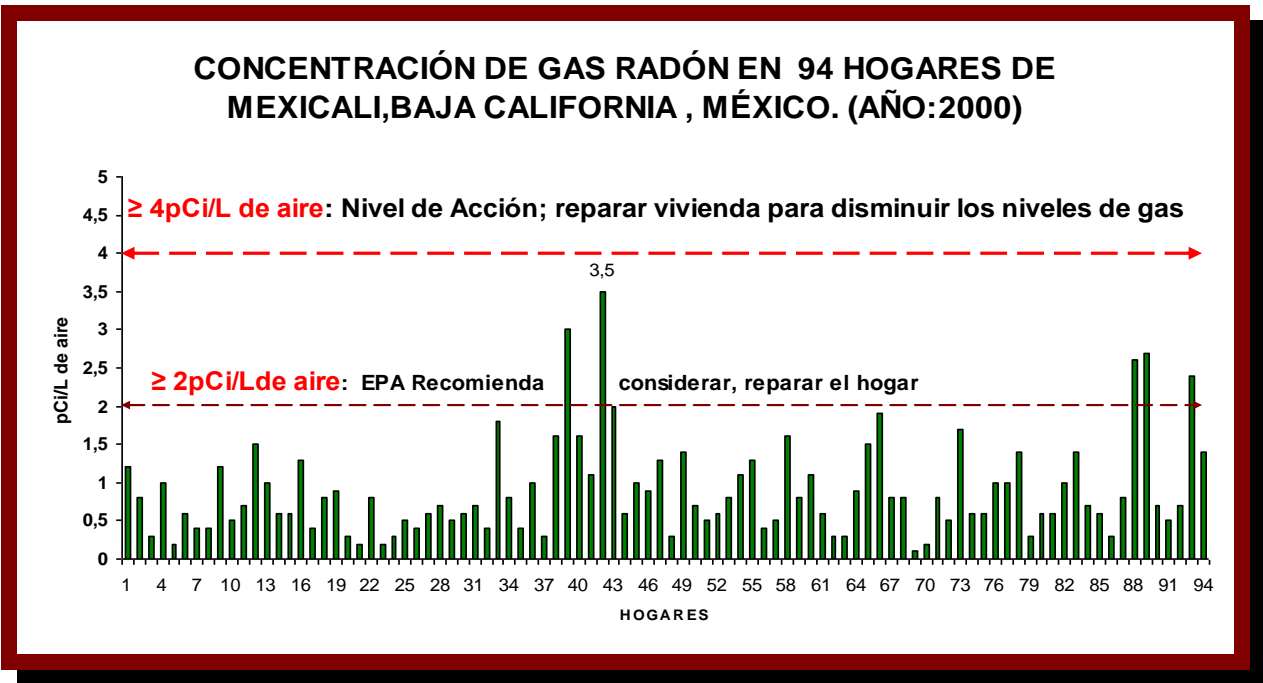


Figura 16. Concentración de gas radón y guía de referencia para modificar los hogares según EPA (datos del 2000).

Tabla 8. Datos básicos de las pruebas.

ESTUDIO DE NIVELES DE RADÓN (Rn^{222}) EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.																										
DESCRIPCIÓN	94 MUESTRAS				25 MUESTRAS																					
Tipo de prueba usada	Prueba pasiva, corta; proporciona un promedio, en el tiempo de la prueba				Prueba pasiva corta; proporciona un promedio, en el tiempo de la prueba																					
Método de medición	Detector de partículas alfa.				Carbón activado.																					
Período de la prueba	90 días (3 meses)				2 días (48 horas)																					
Número de muestras	94				25																					
Tiempo de residencia en el hogar (años)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mín.</th> <th>Máx.</th> <th>Rango</th> <th>Med.</th> <th>Des. Est.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>40</td> <td>39</td> <td>10.9</td> <td>8.7</td> </tr> </tbody> </table>				Mín.	Máx.	Rango	Med.	Des. Est.	1	40	39	10.9	8.7	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mín.</th> <th>Máx.</th> <th>Rango</th> <th>Med.</th> <th>Des. Est.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>55</td> <td>54</td> <td>16.9</td> <td>13.4</td> </tr> </tbody> </table>		Mín.	Máx.	Rango	Med.	Des. Est.	1	55	54	16.9	13.4
Mín.	Máx.	Rango	Med.	Des. Est.																						
1	40	39	10.9	8.7																						
Mín.	Máx.	Rango	Med.	Des. Est.																						
1	55	54	16.9	13.4																						
Año de medición	Octubre-noviembre (2000)				Enero-marzo (2005)																					

La Tabla 8 muestra los datos básicos de los dos estudios, con la finalidad de compararlos de forma paralela, al igual que las tablas siguientes.

Tabla 9. Estadística descriptiva.

DESCRIPCIÓN	94 MUESTRAS	25 MUESTRAS																																																																				
Estadística descriptiva	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Concepto</th> <th>Valores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>0.90 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Error típico</td> <td>0.07 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Mediana</td> <td>0.70 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Moda</td> <td>0.60 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Desviación estándar</td> <td>0,64 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Varianza de la muestra</td> <td>0.40 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Curtosis</td> <td>3.7</td> </tr> <tr> <td>Coficiente de asimetría</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>Rango</td> <td>3.4 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Mínimo</td> <td>0.1 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Máximo</td> <td>3.5 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>84.9</td> </tr> <tr> <td>Cuenta</td> <td>94</td> </tr> <tr> <td>Mayor (1)</td> <td>3.5 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Menor(1)</td> <td>0.1 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Nivel de confianza (95,0%)</td> <td>0.13</td> </tr> </tbody> </table>	Concepto	Valores	Media	0.90 pCi/L	Error típico	0.07 pCi/L	Mediana	0.70 pCi/L	Moda	0.60 pCi/L	Desviación estándar	0,64 pCi/L	Varianza de la muestra	0.40 pCi/L	Curtosis	3.7	Coficiente de asimetría	1.8	Rango	3.4 pCi/L	Mínimo	0.1 pCi/L	Máximo	3.5 pCi/L	Suma	84.9	Cuenta	94	Mayor (1)	3.5 pCi/L	Menor(1)	0.1 pCi/L	Nivel de confianza (95,0%)	0.13	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Concepto</th> <th>Valores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>0.76 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Error típico</td> <td>0.15 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Mediana</td> <td>0.5 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Moda</td> <td>0.2 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Desviación estándar</td> <td>0.75 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Varianza de la muestra</td> <td>0.56 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Curtosis</td> <td>5.95</td> </tr> <tr> <td>Coficiente de asimetría</td> <td>2.26</td> </tr> <tr> <td>Rango</td> <td>3.2 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Mínimo</td> <td>0.2 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Máximo</td> <td>3.4 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>Cuenta</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Mayor (1)</td> <td>3.4 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Menor(1)</td> <td>0.2 pCi/L</td> </tr> <tr> <td>Nivel de confianza (95,0%)</td> <td>0.31</td> </tr> </tbody> </table>	Concepto	Valores	Media	0.76 pCi/L	Error típico	0.15 pCi/L	Mediana	0.5 pCi/L	Moda	0.2 pCi/L	Desviación estándar	0.75 pCi/L	Varianza de la muestra	0.56 pCi/L	Curtosis	5.95	Coficiente de asimetría	2.26	Rango	3.2 pCi/L	Mínimo	0.2 pCi/L	Máximo	3.4 pCi/L	Suma	19	Cuenta	25	Mayor (1)	3.4 pCi/L	Menor(1)	0.2 pCi/L	Nivel de confianza (95,0%)	0.31
	Concepto	Valores																																																																				
	Media	0.90 pCi/L																																																																				
	Error típico	0.07 pCi/L																																																																				
	Mediana	0.70 pCi/L																																																																				
	Moda	0.60 pCi/L																																																																				
	Desviación estándar	0,64 pCi/L																																																																				
	Varianza de la muestra	0.40 pCi/L																																																																				
	Curtosis	3.7																																																																				
	Coficiente de asimetría	1.8																																																																				
	Rango	3.4 pCi/L																																																																				
	Mínimo	0.1 pCi/L																																																																				
	Máximo	3.5 pCi/L																																																																				
	Suma	84.9																																																																				
	Cuenta	94																																																																				
	Mayor (1)	3.5 pCi/L																																																																				
	Menor(1)	0.1 pCi/L																																																																				
	Nivel de confianza (95,0%)	0.13																																																																				
	Concepto	Valores																																																																				
Media	0.76 pCi/L																																																																					
Error típico	0.15 pCi/L																																																																					
Mediana	0.5 pCi/L																																																																					
Moda	0.2 pCi/L																																																																					
Desviación estándar	0.75 pCi/L																																																																					
Varianza de la muestra	0.56 pCi/L																																																																					
Curtosis	5.95																																																																					
Coficiente de asimetría	2.26																																																																					
Rango	3.2 pCi/L																																																																					
Mínimo	0.2 pCi/L																																																																					
Máximo	3.4 pCi/L																																																																					
Suma	19																																																																					
Cuenta	25																																																																					
Mayor (1)	3.4 pCi/L																																																																					
Menor(1)	0.2 pCi/L																																																																					
Nivel de confianza (95,0%)	0.31																																																																					

En la tabla 9 se pueden observar para ambos casos; las medidas de dispersión, tendencia central, los valores máximos y mínimos, la asimetría y curtosis; los cuales son muy semejantes en ambos estudios.

La concentración que ocurre con mayor frecuencia (Moda), presenta un rango de 0.4pCi/L de aire entre los estudios, posiblemente sea por el período de duración de las pruebas; siendo mucho más confiable cuanto más dure el tiempo de aplicación (Detector de Partículas Alfa). El valor que divide la distribución a la mitad (mediana) es usado en los diagramas de caja. El coeficiente de asimetría y curtosis son de signo (+), indicando que hay más valores agrupados a la izquierda de la media y la curva es más levantada, respectivamente; indicando también que la curva no es normal.

La tabla 10 muestra las distribuciones de frecuencias de 3 categorías (clase) y el histograma; con intervalos relacionados en acciones a seguir según EPA, para la modificación de los hogares tratando de reducir los niveles de radón. Para ambos estudios se considera aproximadamente un 7% de hogares, deben considerar acciones en su hogar. Un 93% de las observaciones se encuentran por debajo de 2pCi/L de aire, y en la categoría mayor no se presentaron observaciones.

La tabla 11 presenta los diagramas de caja, permitiendo observar la dispersión de los datos y el grado de asimetría de la distribución; la caja contiene el 50% de los casos centrales, ubicándose entre 0.5 a 1.2 pCi/L de aire y 0.2 a 1pCi/L de aire ; también presenta los casos extremos (42 y 39), valores alejados más de 3 longitudes de caja del percentil 75; los casos atípicos (89, 88, 83, 43) y (9, 21), valores alejados más de 1.5 longitudes de caja del percentil 75, todos ellos pertenecientes a la categoría en donde deben considerarse cambios en el hogar. La dispersión es muy similar para ambos estudios. Las pruebas de normalidad son rechazadas y se acepta la prueba de homogeneidad de varianzas supuestos que indican el uso de la estadística no paramétrica.

Tabla 10. Distribución de frecuencias e histograma.

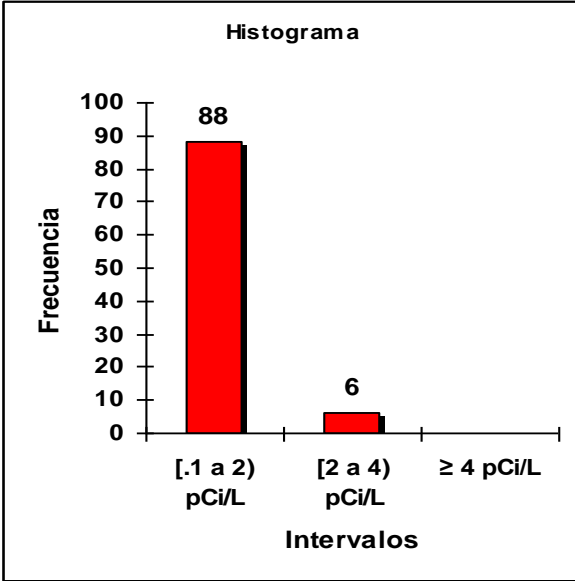
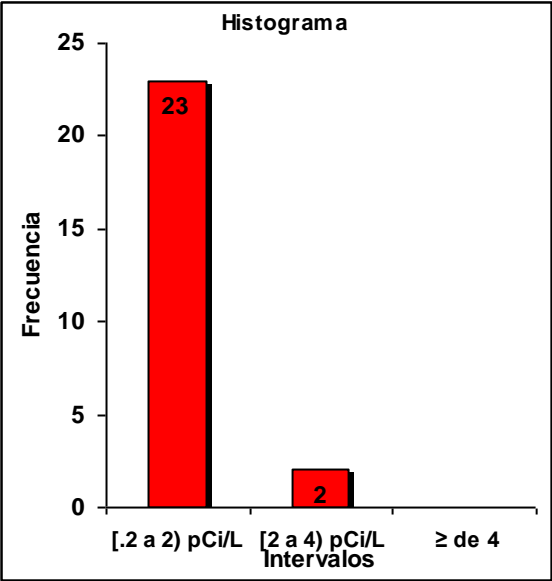
DESCRIPCIÓN	94 MUESTRAS	25 MUESTRAS																								
Distribución de frecuencias	<table border="1"> <thead> <tr> <th><i>clase</i></th> <th><i>Frecuencia</i></th> <th><i>% acumulado</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[.1 a 2) pCi/L</td> <td>88</td> <td>93.60%</td> </tr> <tr> <td>[2 a 4) pCi/L</td> <td>6</td> <td>100,00%</td> </tr> <tr> <td>≥ 4 pCi/L</td> <td>0</td> <td>100,00%</td> </tr> </tbody> </table>	<i>clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>	[.1 a 2) pCi/L	88	93.60%	[2 a 4) pCi/L	6	100,00%	≥ 4 pCi/L	0	100,00%	<table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Clases</i></th> <th><i>Frecuencia</i></th> <th><i>% acumulado</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[.2 a 2) pCi/L</td> <td>23</td> <td>91,67%</td> </tr> <tr> <td>[2 a 4) pCi/L</td> <td>2</td> <td>100,00%</td> </tr> <tr> <td>≥ de 4 pCi/L</td> <td>0</td> <td>100,00%</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Clases</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>	[.2 a 2) pCi/L	23	91,67%	[2 a 4) pCi/L	2	100,00%	≥ de 4 pCi/L	0	100,00%
<i>clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>																								
[.1 a 2) pCi/L	88	93.60%																								
[2 a 4) pCi/L	6	100,00%																								
≥ 4 pCi/L	0	100,00%																								
<i>Clases</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>																								
[.2 a 2) pCi/L	23	91,67%																								
[2 a 4) pCi/L	2	100,00%																								
≥ de 4 pCi/L	0	100,00%																								
Histograma	 <p>Histograma</p> <p>Frecuencia</p> <p>Intervalos</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Intervalo</th> <th>Frecuencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[.1 a 2) pCi/L</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td>[2 a 4) pCi/L</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>≥ 4 pCi/L</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Intervalo	Frecuencia	[.1 a 2) pCi/L	88	[2 a 4) pCi/L	6	≥ 4 pCi/L	0	 <p>Histograma</p> <p>Frecuencia</p> <p>Intervalos</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Intervalo</th> <th>Frecuencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[.2 a 2) pCi/L</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>[2 a 4) pCi/L</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>≥ de 4</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Intervalo	Frecuencia	[.2 a 2) pCi/L	23	[2 a 4) pCi/L	2	≥ de 4	0								
Intervalo	Frecuencia																									
[.1 a 2) pCi/L	88																									
[2 a 4) pCi/L	6																									
≥ 4 pCi/L	0																									
Intervalo	Frecuencia																									
[.2 a 2) pCi/L	23																									
[2 a 4) pCi/L	2																									
≥ de 4	0																									

Tabla 11. Análisis exploratorio.

DESCRIPCIÓN	94 MUESTRAS	25 MUESTRAS
Prueba de Normalidad	Kolmogorov-smirnov: lilliefors (sig.=0.002)	Shapiro-Wilk: muestras < 50: (sig. =0.000)
Prueba de homogeneidad de varianza	Prueba modificada de Levene: (sig.=0.682)	Prueba modificada de Levene:(sig.=0.789)
Análisis exploratorio		

En las tablas 12 y 13 se puede observar que el estrato pavimentado y no pavimentado no inciden sobre la dispersión de los datos ni en las concentraciones.

Tabla 12. Análisis exploratorio por estrato.

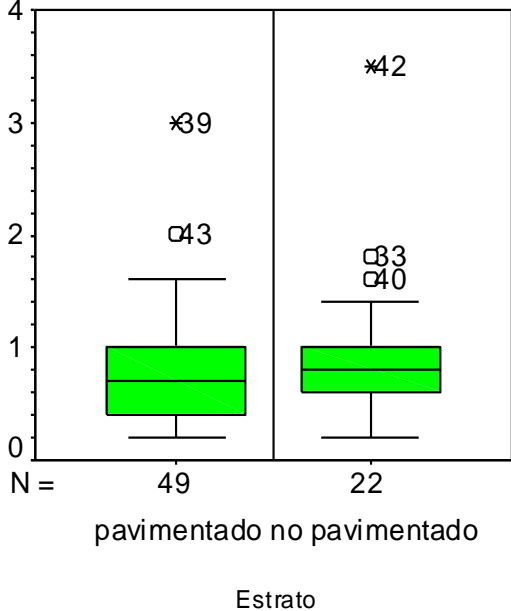
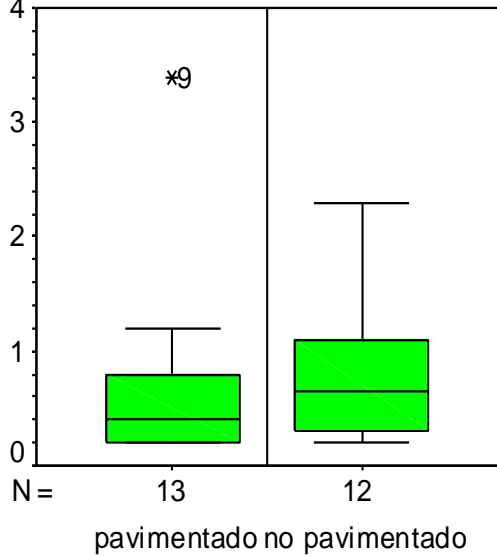
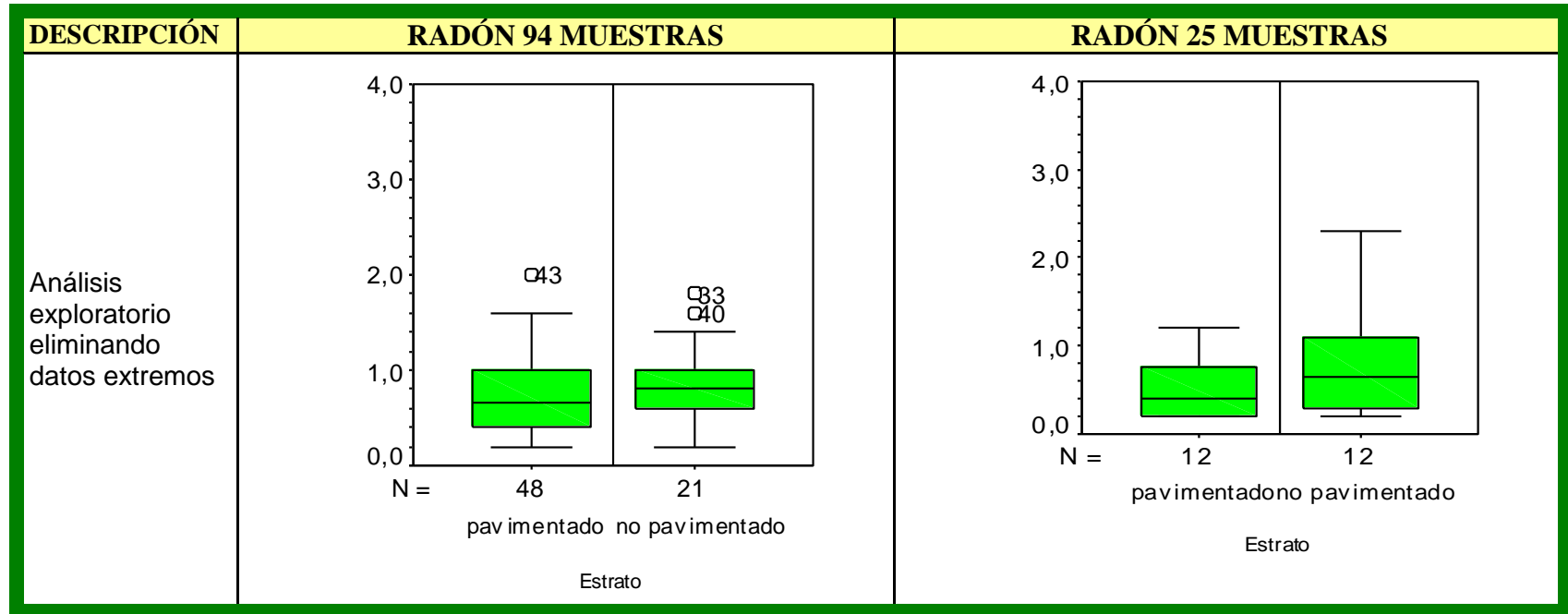
DESCRIPCIÓN	RADÓN 94 MUESTRAS	RADÓN 25 MUESTRAS
Prueba de normalidad por estrato	Shapiro-Wilk: muestras < 50 Pavimentado, N=49: (sig. =0.000) No Pavimentado, N=22: (sig. =0.000)	Shapiro-Wilk: muestras < 50 Pavimentado, N=13: (sig. =0.000) No Pavimentado, N=12: (sig. =0.053)
Análisis Exploratorio por estrato	 <p data-bbox="569 992 1045 1133"> N = 49 22 pavimento no pavimento Estrato </p> <p data-bbox="485 1192 1129 1295"> Nota: De 90 hogares, sólo fueron confirmados por consulta telefónica 71 sobre el servicio de pavimentación. </p>	 <p data-bbox="1318 1068 1780 1149"> N = 13 12 pavimento no pavimento ESTRATOS </p>

Tabla 13. Análisis exploratorio por estrato sin datos extremos.



El segundo tema describe los resultados de la aplicación de un cuestionario tratando de obtener información que permitirá comprender la situación prevalente en torno al radón. En seguida se presentan las tablas de contingencias de los datos recopilados.

Tablas de contingencias

Tabla 14. Polvo de la calle-Se está a salvo en el hogar.

			¿El polvo de la calle obliga a que mantenga las puertas y ventanas cerradas?		Total
			Si	No	
¿Considera estar a salvo de la contaminación en el interior de su casa?	Definitivamente no	cuenta % de Total	12 48,0%	2 8,0%	14 56,0%
	Probablemente no	cuenta % de Total	1 4,0%	1 4,0%	2 8,0%
	Probablemente si	cuenta % de Total	2 8,0%	3 12,0%	5 20,0%
	Definitivamente si	cuenta % de Total	4 16,0%		4 16,0%
Total		cuenta % de Total	19 76,0%	6 24,0%	25 100,0%

En la tabla 14 se mide la percepción; en torno a, si se considera a salvo de la contaminación en el interior de su casa, usando la escala tipo likert, cruzándose con la pregunta el polvo obliga a mantener cerrada su casa. El 56% contestó que definitivamente no y de éste el 48% se ve obligado a mantener cerradas las puertas y ventanas por el polvo.

En la tabla 15 se observa que un 72% de las personas desconocen sobre el radón, y el 28% dice saber sobre el gas, de éste el 24% está vinculado al estudio y el 4 % no lo está.

Tabla 15. Sabe del radón - Relacionado con el Instituto de Ingeniería.

			Relación con el instituto		Total
			si	no	
¿Sabe ud lo que es el radón?	si	cuenta	6	1	7
		% de Total	24,0%	4,0%	28,0%
	no	cuenta		18	18
		% de Total		72,0%	72,0%
Total		cuenta	6	19	25
		% de Total	24,0%	76,0%	100,0%

En la tabla 16 se observa la estadística descriptiva, la distribución de frecuencias y el diagrama de cajas, en relación a la pregunta: ¿Cuánto tiempo (horas) permanece en el hogar?

Se presenta en los 25 hogares una media de 15.18 horas para un total de 108 personas de las que se obtuvieron los datos; el 21.30% del total considera que permanecen más del 75% del día en su hogar y se observa en el diagrama de caja que las mujeres permanecen en el hogar más tiempo que los hombres, la mediana es de 16 horas y 12 horas respectivamente. La prueba de contraste indica que **existen diferencias significativas entre géneros [95%, Sig.=0.007, H1: F1≠F2].**

En la tabla 17 se observa que existen fuentes de ruido que molestan a las familias, principalmente por vehículos y en cualquier momento. Se presentan condiciones potenciales para el desarrollo de enfermedades alérgicas, por la presencia de mascotas y no tienen algunas prácticas recomendadas para combatir los ácaros.

Tabla 16. Horas de permanencia en el hogar.

Datos Estadísticos Descriptivos

Mínimo	Máximo	Rango	Media	N
6	24	18	15.18	108

Distribución de frecuencias

clase	Frecuencia	%	% acumulado
[0-6] horas.	01 persona	0.93%	0.93%
(6-12] horas.	35 personas	32.41%	33.34%
(12-18] horas	49 personas	45.37%	78,71%
(18-24] horas	23 personas	21.30%	100,00%
total	108 personas	100.00%	

Horas de permanencia-Sexo

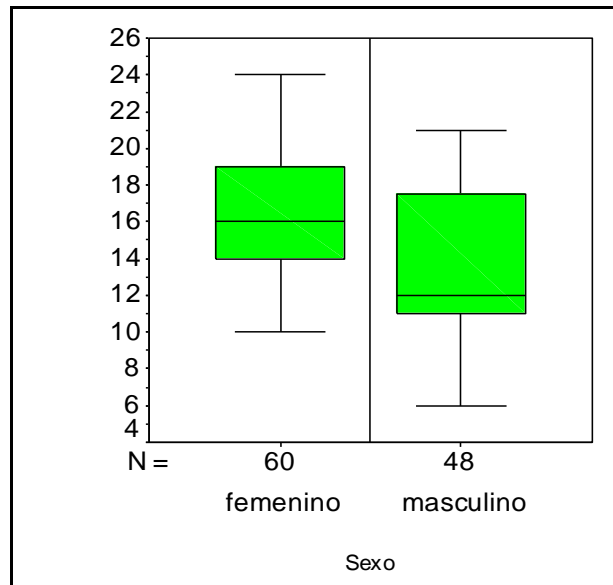


Tabla 17. Tablas de contingencias sobre aspectos que indican fuentes de contaminación.

Count

		¿Esta pavimentada la colonia?		Total
		pavimentada	no pavimentada	
Existe una fuente de ruido que moleste a la familia	si	8	11	19
	no	5	1	6
Total		13	12	25

Count

		momento en que se presenta el ruido				Total
		mañana	tarde	noche	incluye 2 o mas momentos	
Existe una fuente de ruido que moleste a la familia	si	5	2	3	9	19
Total		5	2	3	9	19

Count

		Origen del ruido					Total
		vehículo	Industria	música	otros	2 ó mas orígenes	
Existe una fuente de ruido que moleste a la familia	si	10	1	6	1	1	19
Total		10	1	6	1	1	19

Count

		¿Esta pavimentada la colonia?		Total
		pavimentada	no pavimentada	
Utiliza insecticidas en casa	si	8	8	16
	no	5	4	9
Total		13	12	25

Count

		¿Esta pavimentada la colonia?		Total
		pavimentada	no pavimentada	
Expone los colchones al sol regulamente	si	1		1
	no	12	12	24
Total		13	12	25

Count

		tipo de mascota			Total
		perro	gato		
tiene mascotas en la casa	si	17	1		18
	no			7	7
Total		17	1	7	25

Count

		¿Esta pavimentada la colonia?		Total
		pavimentada	no pavimentada	
Usa agua caliente para lavar la ropa	si	5	1	6
	no	8	11	19
Total		13	12	25

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

Es sabido que la contaminación intramuros aumenta con el desarrollo de las ciudades, se compone de causas físicas; gases, partículas, factores alergénicos y agentes infecciosos. El origen tiene su respuesta en la reducción de la ventilación interior con aire fresco del exterior, aunado a un promedio de tiempo que pasa una persona en espacios cerrados

Es evidente que los niveles del gas intradomiciliario observados en este estudio son bajos (véase tabla 4) en relación a otros países y con respecto a otras ciudades de México en las cuales se han desarrollado estudios de radón. Esto no implicaría un riesgo de padecer cáncer del pulmón por sí solo ya que las causas pueden ser diversas. La Organización Mundial de la Salud, propone usar la ecuación de regresión

lineal simple $Y = (13 \pm 4) (10^{-4})(X)$ para evaluar la proporción (%) de cáncer al pulmón atribuible a la exposición al radón “Y” en donde “X” es equivalente a la concentración de radón en Bq/m³ de aire. Usando la mediana de 25.9 Bq/m³ para el estudio del año 2000 y 18.5 Bq/m³ de aire del año 2005, se obtiene un 3.3 % y un 2.4 % de proporción atribuible a la exposición al radón. Sin embargo aunque el riesgo es bajo es preocupante los fallecimientos observados en la figura 2 y de los cuales no se tiene una evidencia sobre el origen o las causas de esos fallecimientos.

Las tablas de contingencias claramente muestran que el polvo de la ciudad obliga a mantener los hogares cerrados, lo que implicaría una evidente falta de ventilación, además de la permanencia en el interior durante tiempos considerables por parte de los moradores, principalmente las mujeres, además de que el 72 % de los responsable del hogar dicen desconocer qué es el radón; lo que implicaría estar expuestos a los contaminantes potenciales, situación desfavorable observada en este estudio dadas algunas condiciones propicias como contar con mascotas, no usar agua caliente para lavar la ropa, utilización de alfombras, y usar insecticidas; con lo que aumentaría el riesgo de inducir procesos infecciosos respiratorios. En más de la mitad de los hogares encuestados definitivamente no consideran estar a salvo de la contaminación en el interior de su casa.

Según el Centro de Información de Mexicali (INEGI, Contar 2000), el número de casas particulares habitadas es de 131,467 con un promedio de 4 habitantes por vivienda, para una población total de ocupantes de 519,845. Por lo que, atendiendo al principio precautorio de la declaración de Río y la Agenda 21 que apoya varios principios de gestión ambiental, cuando exista una posibilidad clara de que se produzcan consecuencias ambientales perjudiciales, se deben tomar medidas para proteger el

ambiente sin esperar pruebas científicas concluyentes que sustenten dicho daño. Ante esto, se tiene un 7% de hogares en Mexicali cuyo nivel se encuentra en la categoría de [2 pCi/L de aire a 4 pCi/L de aire) y se estima que personas expuesta de por vida a una concentración de 2 pCi/L de aire, de 1000 de ellas una puede tener cáncer (véase tabla 3), luego entonces 36,389 personas de la ciudad de Mexicali pueden estar expuestas a niveles por arriba de 2 pCi/L de aire. Aunado a los niveles de material particulado menor a 10 μ m de diámetro que según los reportes e investigaciones por parte del Instituto de Ingeniería, es alto, es otra condición favorable para que se de un proceso sinérgico que eleve el nivel de riesgo.

5.2 Recomendaciones.

- En este potencial estudio explorativo, se pretende identificar las tendencias que prevalecen sobre el gas radón y el entorno situacional. Es importante llevar a cabo al menos dos mediciones en el período de verano usando métodos pasivos, preferentemente detectores de partículas alfa para ampliar la base de datos y tratar de ir cubriendo las estaciones del año; esto, usando la variación de las concentraciones obtenidas en el estudio actual y la del año 2000, cuyos muestreos se realizaron en los meses de invierno. Para estimar el tamaño de muestra correspondiente a la población a estudiar y de manera aleatoria, debe establecerse una estrategia previa para la ubicación de las muestras para su posterior inferencia, ya que resulta complicado obtener el apoyo por parte de las personas que ocupan los hogares.

- Es evidente la necesidad de establecer un programa de orientación sobre la contaminación intradomiciliaria, pues se observa un desconocimiento del tema.
- No se observó un efecto directo por el servicio de pavimentación, es decir es indistinto, por lo que es importante no considerarlo en las estrategias de estratificación para trabajos posteriores.
- Tratando de encontrar una relación causa-efecto debe desarrollarse un estudio epidemiológico de caso-control usando la base de datos del Departamento de Epidemiología y Estadística de la Jurisdicción de Servicios de Salud, respecto de los fallecimientos por tumores malignos del pulmón.

Glosario

Asbestos. Fibras diminutas de materiales de silicio y magnesio (silicatos de magnesio).

Potencialmente cancerígenos (pulmones, bronquios, peritoneo) al ser inhalados.

Antropogénico. De origen humano. Se refiere a sustancias, causas o efectos originados por el hombre.

Agentes atmosféricos tóxicos. Categoría de contaminantes del aire que comprende materiales radiactivos y otras sustancias tóxicas. Aunque presentes en concentraciones bajas, suelen ser cancerígeno.

Análisis de riesgo. Evaluación de los riesgos asociados a cierto peligro antes de emprender alguna medida. También se llama evaluación del riesgo.

Contaminación. Cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, agua, suelo o alimentos que puede influir de diversas formas en la salud; sobre vivencia o actividades de los seres humanos u otros órganos vivos.

Contaminante. Sustancia cuya presencia contamina el aire o el agua o el suelo.

Densidad. Es el peso de una sustancia comparado con el volumen que ocupa.

Mutación. Cualquier cambio en la estructura del DNA. Puede ser a nivel puntual o localizado, es decir, génico; o a nivel masivo, es decir, cromosómico.

Partículas. Se refiere a cualquier material que, con un diámetro menor a 500 micras (1 micra = 0.001 mm) flota en el aire. Las más perjudiciales para la salud humana son las de un diámetro menor a 10 micras, ya que son inhalables.

Ppm. Partes por millón, como por ejemplo, mg/l, es decir concentraciones que representan una relación en un millón.

Radiación. Flujo de partículas de rápido movimiento (radiación corpuscular) u ondas electromagnéticas de energía (energía radiante).

Dosis. Concentración de un material peligroso por tiempo de exposición. A este producto corresponden los efectos de cualquier material o radiación.

Estudio caso-control: Es un estudio epidemiológico, observacional, analítico, en el que los sujetos son seleccionados en función de que tengan (casos) o no tengan (control) una determinada enfermedad, o en general un determinado efecto. Una vez seleccionados los individuos en cada grupo, se investiga si estuvieron expuestos o no a una característica de interés y se compara la proporción de expuestos en el grupo de casos frente a la del grupo de controles [22].

Tipos de estudio de caso- control:

- Estudio de caso control retrospectivo: Todos los casos han sido diagnosticados antes de que se inicie el estudio.
- Estudio de caso control prospectivo: Los casos son diagnosticados con posterioridad al inicio del estudio y así pueden incluirse los casos nuevos que se detecten durante cierto tiempo establecido previamente.
- Estudio de caso control de base poblacional: Combina elementos del estudio de cohorte y de caso control. Se sigue a un grupo de individuos hasta que aparece la enfermedad de interés como en un estudio de cohortes. Estos casos se comparan con un grupo control, muestreado de la misma población. Una vez que se obtienen todos los casos y los controles se analiza el tipo de exposición previa o actual como en un estudio de caso control.

Materiales radiactivos. El núcleo de todos los átomos tiene el mismo número de protones, pero puede tener diferente número de neutrones. A este átomo con diferente número neutrones se le conoce como isótopo. Muchos isótopos son estables, pero existen algunos núcleos de isótopos que están sujetos a transformaciones espontáneas o transmutaciones; entonces se dice que este núcleo decae o se desintegra, lo cual se conoce como radioactividad. Cuando los isótopos cambian, generalmente emiten una partícula, y con menor frecuencia pueden absorber un electrón. Estos dos procesos son acompañados de una emisión simultánea de energía (radiaciones tipo: α , β , γ). Entre los materiales radiactivos se encuentran compuestos de alto peso molecular como son: uranio, plutonio, radón, actinio, torio, francio, radio, etc. (Meyer, 1999).

Pico curio: Unidad de cantidad utilizada en la medición de sustancias radioactivas. Por ejemplo, cinco pico curios de radón son cinco trillones de un curio y equivalen a 11 átomos radioactivos de radón que se descomponen cada minuto.

Isótopo. Dos o más formas de un elemento químico con el mismo número de protones, pero con distinto número de masa atómica, debido a que tienen un número distinto de neutrones en el núcleo [14].

Electronvoltio. Abreviado como (**eV**), es una unidad de energía equivalente a la energía cinética que adquiere un electrón acelerado por una diferencia de potencia en el vacío de 1 voltio. Dicho valor se obtiene experimentalmente por lo que no es una cantidad exacta. $1\text{eV} = 1.602176462 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Es una de las unidades aceptadas para su uso en el SI (Sistema Internacional de Unidades) pero que no pertenecen estrictamente a él. Dado que el electronvoltio es una

unidad muy pequeña se usan frecuentemente múltiplos como el Megaelectronvoltio **MeV** o el Giga electronvoltio GeV.

Sievert. (Símbolo **Sv**) es una unidad derivada del SI de dosis de radiación. Definida como la dosis recibida en una hora a una distancia de un cm desde una fuente de luz de un 1 mg de radio en una placa de platino de 0,5 mm de espesor. Su equivalente es aproximadamente de 21,6 curios/kilogramo

Gray. Unidad radiobiológica del Sistema Internacional de Unidades que, mide la dosis de radiación ionizante absorbida por un ser vivo. Se abrevia (**Gy**).

1 Gy = 1 julio de energía ionizante absorbida por un kilogramo de tejido orgánico irradiado. Esta unidad fue creada en 1975 en honor al físico Louis Harold Gray.

Revisión de Literatura

[1] CACERES, L. Dante, ADONIS P, Marta, RETAMAL G, Clara *et al.* **Contaminación intradomiciliaria en un sector de extrema pobreza de la comuna de la pinta** . *Rev. méd. Chile*. [online]. Jan. 2001, vol.129, no.1 [cited 10 May 2004], p.33-42. disponible World Wide Web: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872001000100005&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0034-9887.

[2] **NTP 440: Radón en Ambientes interiores** (2004). INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Disponible: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_440.htm. [Accesado: 15 de Abril 2004]

[3] Reyna M.A. y López G. (2002). **Estudio del efecto del radón en los casos de muerte por cáncer pulmonar en la población de Mexicali, Baja California, México**. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*. Vol. XXIII, Núm.2 pp. 68-73.

[4] Radón Seal. (2002). **Riesgo de Cáncer pulmonar por Radón**. Disponible: <http://www.radonseal.com/radon-health-risks.htm>. [Accesado: 10 de Noviembre de 2004]

[5] Osornio,RA; Hernández,RA; Yáñez,BA; Ussler,W; Overbey,HL y Brody,RA. (1991). **Inducción experimental de toxicidad en células del pulmón con polvo de Mexicali, Baja California, México**. *Environmental Research* 56.,31-47.

[6] **Anuario del Centenario Estadística Municipal** (2003). XVII Ayuntamiento de Mexicali.

[7] Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT (2002). **Contaminación del aire intramuros**. http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/temas_interes/intramuros.html [Accesado: 01 de junio de 2004]

[8] Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT (2002). **Calidad de aire**. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/236/cap4.html> [Accesado: 02 de octubre de 2005]

[9] **BEIR VI INFORME SOBRE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE: Efectos a la salud por exposición a radón**. (1999). Resumen sumario. Academia nacional de investigación. Washington, DC.

[10] Segovia N, Ponciano G, Ruiz W, y Godínez L., (2002). **Indoor radón and airborne particles**. *Geofísica internacional*. ISSN 00167119. Vol.41, No.3. pp 255-259.

[11] Collins,K. y Reyna, M.A. (2002). **Salud ambiental en la frontera de Baja California y California**. PP(6-7). 9-10 de abril de 2002. San Diego State University , Imperial Valley Campus y Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali.

- [12] NTP 607: **Guías de calida de aire interior: Contaminantes químicos.** (2004). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Disponible: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_607.htm. [Accesado: 28 de Abril 2004]
- [13] Fierro, O.A. (2002). **“La contaminación atmosférica y su impacto en la salud de la población en la ciudad de Mexicali, B. C.** Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ingeniería. Mexicali, B.C. México.
- [14] Enkerlin, H.E.; Cano, C.G.; Garza, C.R. y Vogel, M.E. (1997). **Ciencia ambiental y desarrollo sostenible.** (1ª ed). México. International Thomson Editores.
- [15] Nebel, B.J. y Wright, R.T. (1999). **Ciencias ambientales: Ecología y desarrollo sostenible.** (6ª ed). México. Prentice hall.
- [16] **Programa para mejorar la calidad del aire Tijuana-Rosarito** (2000-2005) Gobierno del estado de Baja California, Dirección General de Ecología Primera Edición Agosto del 2000. PP 53 – 61.
- [17] **Radón.** Disponible: <http://www.prodigyweb.net.mx/degcorp/Química/Radón.htm> [Accesado: 15 de Abril 2004]
- [18] **Como medir el gas radón con el contador Geiger Radalert-50.** Disponible: www.tiendaelectrón.com/manuals/radon.pdf [Accesado: 17 de Febrero de 2005].
- [19] U.S. EPA. **Aire Interior (Rn).** Disponible: <http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.radsafety.com/radon.php&prev=/search%3Fq%3Dradon%26hl%3Des%26lr%3D%26domains%3Dradsafety.com%26sitesearch%3Dhttp://www.radsafety.com> [Accesado: 20 de octubre de 2005]
- [20] **Radon Legislation and National Guidelines.** Disponible: <http://www.elradon.com/pdfleg/RadonGustav.pdf>. [Accesado: 20 de Octubre de 2005]
- [21] **Energía nuclear.** Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos/enuclear/enuclear.shtml>. [Accesado: 20 de Octubre de 2005]
- [22] **Caso control.** Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Estudio_caso_control [Accesado: 20 de Octubre de 2005]
- [23] U.S. Environmental Protection Agency . (1993). **“El Radón: Guía Para Su Protección y La De Su Familia.** Disponible: <http://www.epa.gov/iaq/radon/pubs/elradon.html>. [Accesado: 15 de Abril de 2004]
- [24] Instituto Nacional de Ecología. **El universo de las sustancias químicas peligrosas y su regulación para un manejo adecuado.** Disponible:

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/422/universo.html> Accesado:
[21 de Abril de 2004]

[25] Chamizo, A. y Gutiérrez, A. (Sin Fecha). **Cambios nucleares y sus aplicaciones**
[en línea] Disponible:
http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec_7.htm
Accesado: [2005, Octubre 22]

[26] **Inferencia estadística.** (Sin Fecha) [En línea] Disponible:
<http://server2.southlink.com.ar/vap/inferencia.htm>

[27] Darby, S.; Hill, D.; Auvine, A.; Barros-Dios, J.M.; Baysson, H. y Bochicho, et.al.
(2005). **Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of
individual data from 13 european case-control studies.** British Medical, Journal, 330
(7485):23

[28] Krewski, D.; Lubin, J.H.; Zeilinski, J.M.; Alavanja, M.; Catalan, V.S.; Field, R.W., et.al.
(2005). **“Residential Radon and Risk of Lung Cancer: A Combined Analysis of 7
North American case-control Studies”.** Epidemiology, March. 16 (2):137-45.

[29] Gómez, G.M.; Danglot, B.C.; Vega, F.L. (2003). **Sinopsis de pruebas estadísticas
no paramétricas. Cuándo usarlas.** Revista Mexicana de Pediatría.
Vol.70, Núm.2. pp 91-99.

[30] Spiegel, M.R. y Stephens, J.L. (2002). **Estadística.** 3ª ed. Editorial Mc. Graw Hill.
México, DF. pp 1-3

[31] Siegel, S. y Castellan, N.J. (1995). **Estadística no paramétrica aplicada a las
ciencias de la conducta.** 4ª ed. Editorial Trillas. México, DF. pp 151.

[32] Nagda, N.L. (1994). **Radón: prevalence, measurements, health risks and
control.** ASTM Manual series: MNL 15. Philadelphia, PA.

[33] Kladder, L.D.; Jelinek, R.S. y Burkhat, F.J. (1997). **Protecting your home from
radon: A step-by-step manual for radon reduction.** 2a ed. Ed. Colorado Vintage
Companies, inc.

[34] Schery, S.D. (1989). **Radon isotopes and their progeny in the indoor
environment.** Enciclopedia de tecnologías de control ambiental. Vol. 2, ed. G Pulf
Publishing Co., Houston, TX., pp. 897-920

[35] Reineking, A.; Butterweck, G.; Kesten, J. y Porstendorfer, J (sin fecha). **thoron gas
concentration and aerosol characteristic of thoron decay products,** Radiation
Protection Dosimetry, Vol. 45, pp 253- 356

[36] Turk, B.H.; Prill, R.J.; Fisk, W.J.; Grimsrud, D.T. y Sextro, R.G. (1991). **Efectiveness of radon control Techniques in 15 homes**. The Journal of the air and waste management association vol.41, pp 723-734.

[37] US. Geological Survey (1995). **Geología del radón**.
[En línea] disponible: URL: <http://energy.cr.usgs.gov/radon/georadon/3.html>
Accesado: [2005, Noviembre, 22]

[38] Reyna, C. M.; López, B. G. y Baltiérrez, S. E. (2001). **Un intruso invisible, silencioso y mortal**. Universidad Autónoma de Baja California. Rev. Divulgare. Año 9. núm.33 pp. 4-9

[39] Berenguer, S.M. (2002). **Informes: Radón en ambientes interiores**. [En línea] Disponible: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=185>

[40] Quirino, LL; Mireles, F; Dávila, JI ; Pinedo, JL; Ríos, ML; Garcia, ML y Soriano, JM. (2002). **Real-time indoor radon exposure in the city of Zacatecas, México**. Geofísica internacional. ISSN 00167169. Vol.41, No.4. pp. 447-451.

[41] Antovich, N.; Uvarov, V.V.; Vukotich, P.; y Dapchevich, S. (2002). **Indoor radon concentrations above bauxite ground**. Geofísica Internacional. Vol.41, núm.3, pp. 321-323.

[42] Canoba, A.; López, F.O.; Arnaud, M.I.; Oliveira, A.A.; Neman, R.S. y Hadler J.C. (2002). **Indoor radon measurement in six Latin American countries**. Geofísica internacional. Vol.41, núm. 4 pp.453-457

[43] Chávez, A. y Segovia, N. (2002). **Real time radon variation indoors**. Geofísica internacional. Vol.41, núm. 3 pp.239-241

[44] INDOOR AIR POLLUTION. **An Introduction for Health Professionals**. American Lung Association, Environmental Protection Agency, Consumer Product safety Commission, American Medical association.
[En línea] disponible: URL: http://www.indoorpollution.com/air_pollution.htm
Accesado: [21 de Abril de 2004]

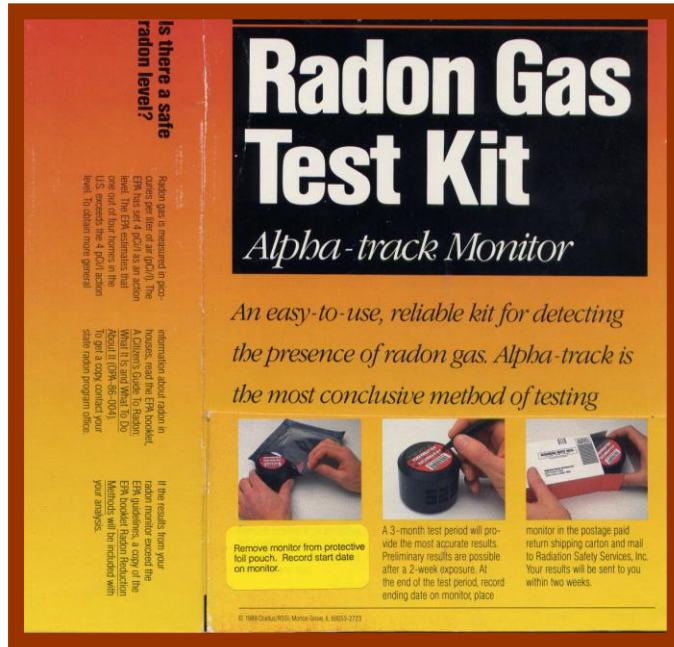
[45] Albert, L.A. (1985). **Curso Básico de Toxicología Ambiental**. 2ª. Ed. México, D.F., Ed. Limusa-Noriega.

[46] Medellín, M. P. (2003). **Industria Petroquímica y Medio Ambiente**. Datos básicos y el documento OCDE 2001.
Accesado: [21 de septiembre de 2004]
URL: <http://ambiental.uaslp.mx/docs/PMM-AP011220.pdf>

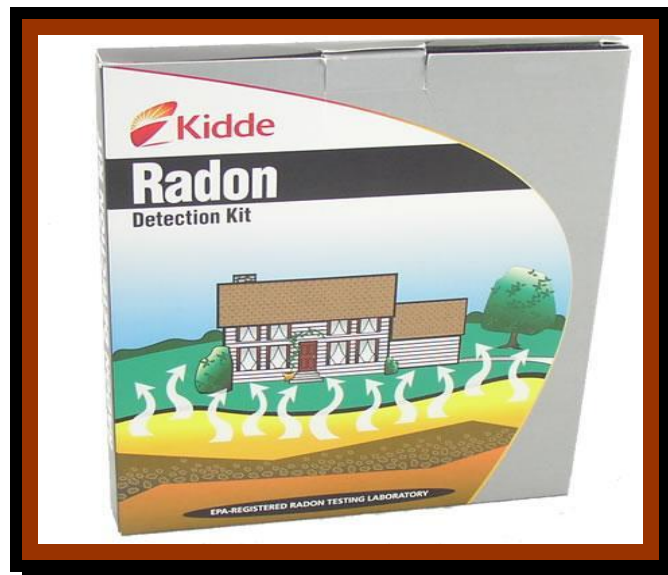
[47] Hernández, S.R.; Fernández, C.C. y Baptista, L.P. (1998). **Metodología de la investigación**. 2ª ed. México, D.F., Ed. McGRAW-HILL .pp. 58-59

APENDICE

MONITOR DE PARTÍCULAS ALPHA: Kit usado para monitorear gas radón en 94 hogares de Mexicali, Baja California, México, en el año 2000.



KIT DE CARBON ACTIVADO: Kit usado para monitorear gas radón en 25 hogares de Mexicali, Baja California, México, en el año 2005.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MUESTREO DE RADÓN INTRAMUROS**

INSTRUCCIONES DE LA PRUEBA: KIT DE CARBON A CORTO PLAZO

No abra la bolsa de plástico hasta leer la información y esté lista la prueba.

IMPORTANTE: CONDICIONES EN LAS QUE DEBE PERMANECER CERRADA LA CASA: todas las ventanas y puertas deberán permanecer cerradas mínimo 12 horas antes de la aplicación de la prueba, excepto para entrar y salir de la casa.

- A) Cuando la prueba esté lista, abra la bolsa de plástico y tome la prueba para colocarla (con la cara de papel hacia arriba) en una superficie plana a dos o más pies por encima del piso, en el sitio donde se llevará a cabo la prueba. Tenga cuidado de no rasgar o pinchar la muestra de radón. No toque la muestra durante el periodo de la prueba.
- B) No coloque el kit cerca de fuentes de calor, o aire acondicionado, o en otros sitios donde exista circulación de aire.
En sitios mojados o de alta humedad.
En exposición directa al sol o cerca de fuentes de calor.
- C) Retire la prueba a los dos días (Duración: 48 horas). La prueba se invalida si se alarga hasta 96 horas.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN:

Nombre completo :			
Dirección :	Calle:	#	
	Colonia:	C.P.	
Teléfono:	(01 686)		

DATOS DE LA PRUEBA:

No. de serie del kit:					
Tiempo de inicio de la prueba:	Hr.	Min.	Día	Mes	Año
Tiempo de término de la prueba:	Hr.	Min.	Día	Mes	Año
Diseño de la casa	Sótano	Dos niveles		Losa	
Sitio donde se aplico la prueba	Sótano	Primer piso		Segundo piso	

REPORTE DEL LABORATORIO: Alfa Energy

c/o Alpha Energy Laboratories
2501 Mayes Rd
Suite 100
Carrollton, TX 75006
(877) 795-1000



RADON TEST REPORT

GRISGLDA ROJAS
OLIVO
MEXICALI, BC

Report Date: 3/15/2005

NEHA ID#: 101132 AL

State ID#:

Dear Consumer:

You have taken an important step to find the radon level in the home.

HERE ARE YOUR RADON TEST RESULTS:

LAB ID# KIT ID#	RADON LEVEL (pCi/L)	TEST LOCATION	TEST TYPE Start/Stop	TEST METHOD
486952 KC3000	0.2	1st Floor	Short Term 2-28-2005 to 3-2-2005	Activated Charcoal

Use the chart below to compare your radon test results with the EPA guideline. The higher a home's radon level, the greater the health risk to you and your family.

Radon Level (pCi/L)	Description
0.4	Average outdoor radon concentration.
1.3	Average indoor radon concentration.
4.0	EPA RECOMMENDED ACTION GUIDELINE

RADON HEALTH RISK INFORMATION

Radon is the second leading cause of lung cancer, after smoking. **The US Environmental Protection Agency (EPA) and the Surgeon General strongly recommend taking further action when the home's radon test results are 4.0 pCi/L or greater.** The concentration of radon in the home is measured in picocuries per liter of air (pCi/L). Radon levels less than 4.0 pCi/L still pose some risk and in many cases may be reduced. If the radon level in your home is between 2.0 and 4.0 pCi/L, the EPA recommends that you **consider** fixing your home. The national average indoor radon level is about 1.3 pCi/L. The higher a home's radon level, the greater the health risk to you and your family. Smokers and former smokers are at especially high risk. There are straightforward ways to fix a home's radon problem that are not too costly. Even homes with very high levels can be reduced to below 4.0 pCi/L. The EPA recommends that you use an EPA or State-approved contractor to fix radon problems.

Confidentiality: The information contained in this report is confidential. If you received this report in error, please return it to the address above.

Kidde Safety/Alpha Energy Laboratories is responsible solely for the analysis of samples returned to us. We do not provide sampling services and are not responsible for erroneous radon concentrations resulting from incorrect sampling procedures.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**ENCUESTA DE SALIDA: DATOS BÁSICOS DE LA FAMILIA, SOBRE SÍNTOMAS,
SIGNOS DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS, CARACTERÍSTICAS DEL GRUPO
FAMILIAR Y LA VIVIENDA.**

Folio: _____

Nombre del encuestador: _____

A) Fecha y datos de ubicación de la vivienda.

FECHA DE APLICACIÓN DE LA ENCUESTA	DIA	MES	AÑO	HORA
DIRECCION	CALLE			NUMERO
	COLONIA	AGEB	CP	TELEFONO
	TIENE PAVIMENTO LA COL. (%)			
RESPONSABLE DEL HOGAR	NOMBRE			

B) Información general.

- 1.- ¿Cuántas personas de la familia viven en la casa? _____
- 2.- ¿Cuántas personas de la familia tienen empleo? _____
- 3.- ¿En que año fue habitada la casa? _____
- 4.- ¿Se han presentado enfermedades respiratorias en la familia?
SI _____ NO _____
- 5.- ¿Sabe UD. qué es el radón?
SI _____ NO _____

C) Estructura y dinámica de la familia.

Lugar en la familia (Clave)	Jefe(a) de hogar	J	Clave
	Esposo(a)	E	
	Hijos	H	
	Otros parientes	OP	
	Abuelo (a)	A	
	Tío (a)	T	
	Nuera / Yerno	N	
	otros	O	

No.	Lugar en la familia (Clave)	Nombre	Sexo		Edad
			M	F	
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					
10					
11					
12					

Continúa (cuadro de preguntas relacionadas con las personas que trabajan)

No.	Tiene empleo (√)	Ocupación	Horario	Nombre de la empresa donde trabaja	¿Cree estar en contacto con algún tipo de contaminante?	
					Si	no
01						
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						
11						
12						

Continúa (cuadro de preguntas relacionadas con las personas que estudian)

No.	¿Estudia actualmente? (√)	¿Qué grado estudia actualmente?	*Máximo nivel escolar	¿Cuántas horas al día pasa en su casa?	Cree estar expuesto a contaminantes	
					escuela	casa
01						
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						
11						
12						

PREESCOLAR, PRIMARIA, SECUNDARIA, PREPARATORIA, TÉCNICO, LICENCIATURA, MAESTRÍA, DOCTORADO.

D) Consumo de tabaco.

Lugar en la familia	Fuma actualmente (√)	Cuanto tiempo tiene fumando	Cigarros por día (X)	Fuma	
				afuera	adentro

E) Características de la vivienda. (Materiales usados para su construcción).

Marcar el utilizado con una palomita (√)

DESCRIPCIÓN		MATERIAL							
TECHO									
PARDES									
PISO									
	concreto	adobe	ladrillo	block	madera	foam	lamina	Tabla	otro

F) ¿Existe alguna fuente externa de ruido a la vivienda, que afecte o moleste a los habitantes de su casa?

Fuente	Día	Tarde	Noche
Vehículos			
Industrias			
Otro (especificar)			

G) ¿Alguien de la familia presenta problemas respiratorios?

Lugar en la familia	*Problema respiratorio	Fallecimiento	Época del año			
			Primavera	Verano	Otoño	Invierno

*Causa: Bronquitis, Asma, Neumonía, Otro.

H) ¿Utiliza algún tipo de insecticida en su casa?

No _____

Si _____

semana	quincena	mes	semestre	anual	(Otro) especifique

I) ¿Actualmente tiene algún tipo de insecticida almacenado en su casa?

SI _____ NO _____

J) ¿Tiene mascotas en su casa?

NO _____

SI _____

Perros	Gatos	Ratones	Aves	Otros (especifique)

K) ¿Alguna vez ha visto hongos en su casa (moho)?

En el baño	Cocina	Madera	Fruta	Otro

L) ¿Tiene alfombras en su casa?

SI _____ NO _____

M) ¿Lava su ropa y sabanas con agua caliente?

SI _____ NO _____

N) ¿Expone los colchones al sol regularmente?

SI _____ NO _____

Ñ) ¿El polvo de la calle obliga a que mantenga las puertas y ventanas cerradas?

SI _____ NO _____

O) ¿Considera estar a salvo de la contaminación en el interior de su casa ?

DS (5)	PS (4)	NS (3)	PN (2)	DN (1)

DS= Definitivamente si
PS= Probablemente si
NS= No se
PN= Probablemente no
DN= Definitivamente no

Productos obtenidos

Publicación: (Divulgación)

Título: “**Contaminación del aire intradomiciliario.** (En imprenta)

Revista: Revista Universitaria. Sección Divulgare, ciencia para todos.

Institución: Universidad Autónoma de Baja California.

Autores: Noé Salvador Ruiz Ortiz y Marco Antonio Reyna Carranza.

Publicación: (Arbitrada)

Título: “**Detección de gas radón (Rn) intradomiciliario en 25 hogares de Mexicali, B.C. usando pruebas cortas.** (En imprenta)

Revista: Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica.

Institución: Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, A.C.

Autores: Noé Salvador Ruiz Ortiz y Marco Antonio Reyna Carranza.