

RADON Y METEOROLOGÍA

Luis S. Quindós Poncela⁽¹⁾, José Luís Arteché García⁽²⁾, Ismael Fuente Merino⁽³⁾

(1) Cátedra de Radiología y Medicina-Física. Facultad de Medicina, Universidad de Cantabria, 39011-Santander, quindosl@unican.es

(2) Instituto Nacional de Meteorología, 39012-santander, jlag@inm.es

(3) Cátedra de Radiología y Medicina-Física. Facultad de Medicina, Universidad de Cantabria, 39011-Santander funtei@unican.es

DESCRIPCIÓN Y FUENTES DE RADON

El radon, aislado por primera vez por Dorn en 1908, es un elemento gaseoso procedente de la desintegración del radio que, a su vez, es un producto de desintegración de la cadena del uranio presente en la corteza terrestre. La Tierra es un planeta radiactivo desde su creación, si bien no nos hemos percatado de ello desde apenas hace cien años. De acuerdo con la tabla de Mendeleiev, el radón pertenece a la familia de los gases nobles, llamados así por la ausencia de reactividad química, propia de este tipo de gases. Además de ser un gas inerte, el radon es extremadamente móvil, pudiendo

mitad por desintegración radiactiva, emitiendo radiación alfa, dando lugar a otros elementos no gaseosos que, a su vez, también se desintegran

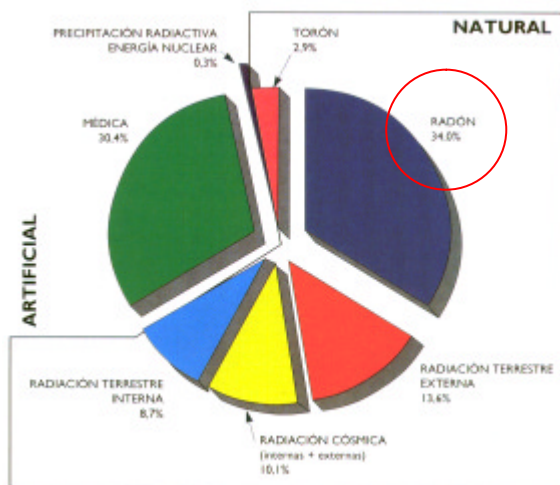
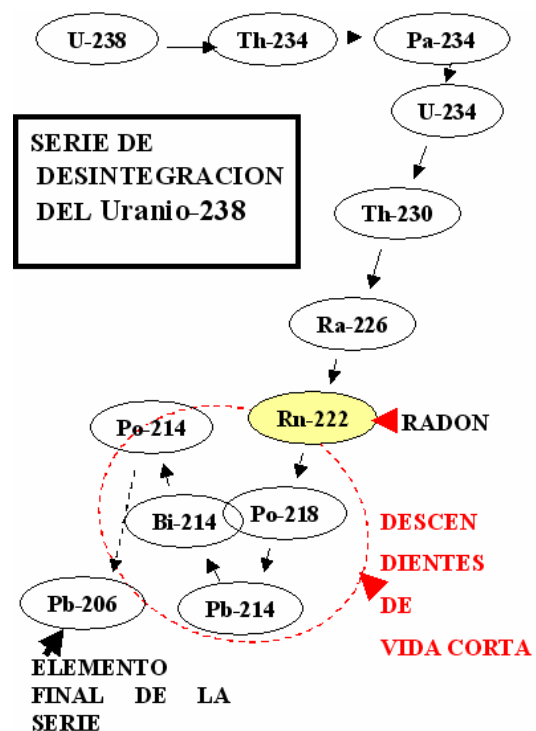


Fig.1- Contribución de las distintas fuentes de exposición, de origen natural y artificial, a la dosis recibida por la población.

atravesar una pared de cristal, madera y/o hormigón en más o menos tiempo dependiendo del tipo de material. Este gas, incoloro, inodoro e insípido, forma parte en una pequeña proporción de la composición del aire atmosférico que respiramos y su solubilidad en el agua es relativamente grande.

Su periodo de semidesintegración es de 3,8 días, lo cual significa que al cabo de este intervalo de tiempo el número de átomos del mismo existentes en una muestra determinada se reduce a la



emitiendo radiaciones alfa, beta y gamma, hasta que al final de esta cadena se llega al elemento estable que es el plomo.

A través de la respiración, el radon y sus descendientes penetran dentro del aparato respiratorio y, mientras que el primero permanece en el mismo muy poco tiempo, los segundos se depositan sobre las superficies internas del tracto respiratorio continuando allí su proceso de desintegración, dañando las células presentes con las radiaciones emitidas. Es en este hecho en el que radica el efecto nocivo del radon para nuestra salud.

Debido a su carácter radiactivo, para que haya una presencia continua de radon en cualquier medio es necesaria una producción continua del mismo. Por ello, si se quiere tener mas información

sobre el origen del radón en nuestras casas es preciso saber, en primer lugar, dónde se encuentra el uranio del que deriva. El uranio es un elemento químicamente muy activo, capaz de asociarse con muchos otros y desplazarse con ellos. Este elemento se encuentra en casi todas las rocas y suelos de nuestro planeta, generalmente, en pequeñas proporciones de algunos gramos por tonelada, dependiendo del tipo de roca y suelo, salvo en aquellas zonas en las que por su abundancia se explota comercialmente.

Por tanto, la primera pista para localizar el uranio provendrá del análisis de la carta geológica que informa del tipo de rocas presentes en la zona

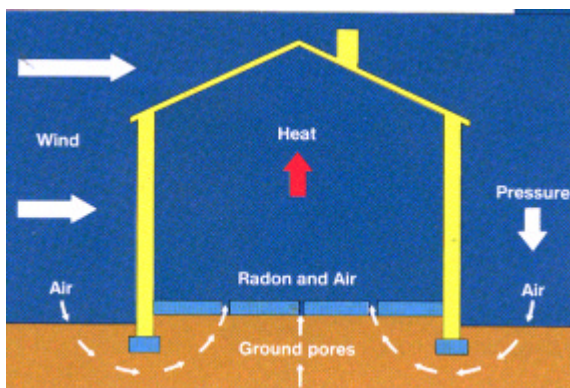


Fig.2- Dentro de una vivienda la presión atmosférica tiende a ser inferior a la del exterior, de modo que el radón es “aspirado” a través de grietas en el suelo.

que se está estudiando. Sin embargo, para evaluar la cantidad de radón que puede penetrar en nuestras casas, este parámetro no es suficiente. Al desintegrarse los átomos de uranio dan lugar a átomos de radio, pero al ser ambos sólidos, ninguno de los dos va a tener la posibilidad de desplazarse individualmente si no es junto con la roca o suelo del que forman parte o arrastrado por corrientes de agua subterránea. En cambio, debido a su carácter gaseoso, los átomos de radón que se forman a partir del radio pueden desplazarse libremente al tiempo que se desintegran dando lugar a sus descendientes. Este desplazamiento será más o menos rápido dependiendo de las condiciones particulares de las rocas o el suelo en que aquél tiene lugar. Por ejemplo, rocas muy fracturadas y suelos muy porosos pondrán pocas dificultades al desplazamiento del radón permitiendo que éste alcance fácilmente la superficie del suelo y, por tanto, el aire exterior (exhalación). Una vez en éste, el enorme volumen de aire de la atmósfera es capaz de diluir el radón emanado desde el suelo de forma que la concentración en atmósfera libre de este gas es, en general, muy pequeña.

La permeabilidad de los suelos es el parámetro que caracteriza la mayor o menor dificultad que los mismos presentan al paso de fluidos, y constituye el factor más importante a la hora de evaluar el escape de radón del suelo. Las arcillas, por ejemplo, al contener una concentración de uranio apreciable son fuentes potenciales de radón. Sin embargo, su escasa permeabilidad hace que la cantidad de radón que alcanza la superficie sea muy pequeña.

Por el contrario, en rocas muy fracturadas y permeables como pueden ser las calcáreas, con contenido en uranio diez veces menor que las arcillas, el radón se desplaza fácilmente y puede alcanzar la superficie del suelo en mayor proporción. Lo mismo ocurre con el granito, que si bien posee un contenido en uranio a veces importante, presenta una estructura que hace que la cantidad de radón que escapa de él sea muy pequeña cuando el granito está compactado, y aumente de manera importante cuando se halla fracturado o muy triturado.

Así, tanto el contenido de uranio como la porosidad y la permeabilidad de los suelos son factores importantes a tener en cuenta a la hora de explicar la presencia de radón en las viviendas. De manera general, la principal fuente de aporte de radón al interior de nuestras viviendas es el suelo sobre el que éstas se asientan.

La segunda fuente de aporte de este gas se halla en los materiales de construcción empleados en las casas. Dado que el contenido de uranio presente en éstos depende básicamente de su zona de procedencia, pueden existir zonas concretas dentro de un mismo país en las que la contribución debida a los materiales de construcción puede llegar a ser tan importante como la del suelo.

Por último, como el radón se disuelve en el agua y se desorbe también con facilidad, ésta puede llegar a ser una fuente significativa de radón en aquellos casos en los que la misma proceda de pozos profundos y sin depuración previa.

FENÓMENOS DE TRANSPORTE

Ya sea desde el suelo situado bajo la vivienda o desde los materiales de construcción empleados en la misma, la entrada de este gas en nuestras viviendas tiene lugar a través de procesos de difusión molecular y de transporte convectivo debido a gradientes de presión. La desintegración radiactiva del radio presente en el suelo o en los materiales de construcción es, lógicamente, el punto de partida, ya que ella es la que da lugar a que una fracción de átomos de radón abandone el medio sólido en que se genera y alcance los poros del terreno o del material, estando así en condiciones de desplazarse a través de dichos poros hasta alcanzar la superficie del suelo o del material.

La difusión molecular consiste básicamente en el desplazamiento de átomos de radón desde aquellas

zonas donde su concentración es mayor hacia aquellas otras en las que dicha concentración es menor. Por otro lado, el transporte convectivo tiene su fundamento en las diferencias de presión existentes entre el gas del suelo y el interior o el exterior de las viviendas. Dado que debido al viento y al uso de calefacción o sistemas de ventilación, la presión en el interior de las casas es ligeramente inferior, el radón se ve arrastrado por diferencias de presión a través de los poros, fisuras y grietas que existen en las estructuras que separan las viviendas tanto del suelo subyacente como del medio exterior.

Por todo lo anterior resulta claro que el problema del gas radón en las viviendas solamente afectará a las mismas si se hallan próximas al suelo y éste es una fuente importante de radón. Este es el motivo por el que dicho problema no suele presentarse en los bloques de pisos característicos de las ciudades.

MEDIDA DEL RADON Y EFECTOS SOBRE LA SALUD

La presencia de elementos radiactivos y, más concretamente, de los precursores del radón, es consustancial a la presencia del hombre sobre la Tierra. Por ello, mucho antes de descubrirse la radiactividad y sus efectos nocivos sobre nuestro organismo, algunos científicos ya habían conocido de su existencia sin saberlo. En 1556 uno de ellos, llamado agrícola, al escribir el primer tratado sobre prospección, relacionado con la explotación minera y la metalurgia, señalaba la alta incidencia de enfermedades pulmonares mortales entre los trabajadores de la mina de pechblenda, uno de los principales minerales del uranio, de Joachimstal, en Checoslovaquia. Cualquiera puede imaginarse una mina con ingentes cantidades de uranio, galerías con pobre ventilación y niveles de radón muy elevados. Allí estaba la radiactividad y, en particular, el radón, pero Agrícola no podía saberlo todavía. No fue sino hasta mediados del siglo anterior cuando la necesidad de disponer de uranio como principal combustible de las centrales nucleares hizo que el incremento de la actividad minera cobrase un auge muy importante y que aumentase con ella el número de trabajadores expuestos al radón en las galerías de las minas. Es, por tanto, del desarrollo de la industria nuclear de donde surgen los primeros conocimientos fundados acerca de la problemática del radón. Igualmente es en ella en la que encontramos el origen de su interés desde el punto de vista social.

Sin embargo, resulta interesante reseñar que los precursores en las campañas de medidas de radón fueron los países nórdicos, que ya a principios de los años setenta iniciaron estos estudios en sus viviendas. En aquellos años, coincidiendo con la crisis del petróleo y las bajas temperaturas existentes

en dichas latitudes, la industria de la construcción sufrió un cambio importante, dado que por razones de ahorro energético las viviendas se hacían cada vez más herméticas. Este hecho favorecía la acumulación de radón en su interior, alcanzándose concentraciones que, en algunos casos, eran muy elevadas.

Más de veinte años después, en países como el nuestro, con temperaturas no tan extremas, pero con el mismo problema energético y de carestía del suelo, se ha producido un fenómeno similar. A título simplemente comparativo, mientras que una vivienda antigua renueva el aire de su interior unas tres veces por hora, una actual necesita dos horas para llevar a cabo dicha renovación. Este hecho favorece sin duda la presencia y acumulación de radón en dichas viviendas. Si a este hecho se añade el que cada vez se usan con más frecuencia materiales de construcción en cuya fabricación se emplean productos de desecho industriales, tales como las cenizas de centrales térmicas o acerías, o productos derivados de la industria de fertilizantes (todos ellos con un alto contenido en radio), se entiende el por qué cada vez puede ser más importante el control radiológico de este tipo de materiales con el fin de prevenir y reducir la presencia del gas radón en el interior de nuestras viviendas.

Como resultado de la medida de la concentración del radón, al margen del método empleado, se obtiene un valor numérico que suele expresarse en becquerelios (Bq) por metro cúbico de aire, siendo el becquerelio una unidad típica utilizada en radiactividad y que es equivalente a una desintegración por segundo de un átomo radiactivo. A partir de las concentraciones medidas y aplicando factores de conversión apropiados, es posible calcular las dosis recibidas como consecuencia de la presencia del radón en el aire. En el campo de la radiactividad, la dosis, que se mide en milisievert (mSv), es la magnitud que tiene en cuenta no solo las características físicas de la radiación que se recibe, sino también el daño biológico derivado de la misma.

Existen unos valores de dosis recomendados y si los niveles de radón en la vivienda en que vivimos son elevados, nos sometemos a muchas radiografías, vivimos en zonas de gran altitud o con altas concentraciones de elementos radiactivos en los suelos o materiales de construcción, la "dosis recomendada" puede ser ampliamente superada. Lo mismo sucederá si nuestro trabajo se realiza en ambientes con altos niveles de radiación natural como, por ejemplo, en minas, aviones, cuevas, balnearios o zonas con altas concentraciones de radón en edificios.

A principios de los años treinta aparecieron los primeros trabajos publicados que confirmaban la

sospecha de que los mineros del uranio padecían enfermedades pulmonares con mayor frecuencia que la población general, correlacionando la misma con un elevado nivel de radiactividad tanto en el aire como en las aguas de dichas minas. Con el desarrollo de esta minería, a partir de la II Guerra Mundial se desarrollaron estudios epidemiológicos que han supuesto un seguimiento de poblaciones de mineros a lo largo de muchos años en distintas partes del mundo. Entre los más importantes se encuentra el llevado a cabo en Colorado, EU, durante las décadas de los sesenta a los ochenta, y que vino a confirmar la estrecha correlación entre la presencia de radón en las minas y la aparición de cáncer de pulmón entre los mineros. Se encontró un incremento de la incidencia en un factor de diez con relación a la población en general, el cual pasaba a ser de treinta cuando a la exposición al radón se le añadía el factor del tabaco. En todos los casos las dosis recibidas por los mineros eran del orden de cientos de mSv por año, muy superiores a los 20 mSv/año actualmente recomendado por los organismos internacionales para el desarrollo de esta actividad.

La cuestión básica reside, por lo tanto, en conocer si estos factores de riesgo pueden ser aplicados a la población en general, que reside en las casas donde habitualmente los niveles de radón resultan ser más bajos y las condiciones ambientales muy diferentes. Para resolver esta cuestión, en la actualidad se están desarrollando varios estudios epidemiológicos en distintos países. Solamente a partir de los resultados que se encuentren podremos saber si la extrapolación de esos factores de riesgo a la población general es o no posible.

A la espera de los resultados de estos estudios, algunos de los cuales aparecen en www.elradon.com, la Comisión Internacional de Protección Radiológica, y como medida preventiva, en sus publicaciones 39 y 65, así como la Comisión de las Comunidades Europeas, en su Diario Oficial de 27 de marzo de 1990 han hecho una serie de recomendaciones sobre las concentraciones de radón a partir de las cuales deberían adoptarse medidas de

protección. Así, para las casas ya construidas, la UE recomienda que la concentración media anual de radón no debe sobrepasar los 400 Bqm³

Mientras que para las futuras construcciones, dicho nivel no debe sobrepasar los 200 Bqm³, entendiéndose ello como concentraciones promediadas a lo largo de un periodo de tiempo no inferior a tres meses. Estos valores representan concentraciones promedio de radón que dan lugar a dosis anuales de 20 y 10 mSv, respectivamente, superiores lógicamente, a los valores promedio anteriormente referidos.

En España, al igual que en el resto de países industrializados, a principios de los años noventa del siglo anterior se llevó a cabo una campaña de medida de radón en viviendas a lo largo de toda la geografía nacional. La campaña fue financiada por la DGXII de la Comunidad Europea así como por el Programa Nacional de I+D del CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) A partir de las medidas realizadas se encontró un valor promedio de concentración de radón de 45 Bqm³, habiéndose llevado a cabo campañas de medida específicas en aquellas zonas con mayor riesgo potencial de exposición al radón, tales fueron las realizadas en las sierras de Guadarrama o uraníferas como los Arribes, La Haba o Cárdena (Salamanca) Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la existencia de elevadas concentraciones de radón en el interior de las viviendas en algunas zonas en las que, sin duda alguna, sería de interés llevar a cabo estudios epidemiológicos al objeto de comprobar si existe algún tipo de correlación entre las concentraciones medidas y la salud de sus residentes.

Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, a la espera de estos estudios epidemiológicos y, probablemente, de la realización de un mayor número de medidas en estas zonas, parece necesario, al igual que se hace en otros países, proceder por un lado a la reducción de los niveles de radón en aquellas casas con valores por encima de los recomendados mediante el empleo de técnicas de remedio y, por otro lado, disponer de unos criterios y normas de construcción específicos para estas zonas, los cuales hagan que el problema del gas radón no adquiera mayores dimensiones que las actuales.

Se está trabajando en la actualidad en la inclusión dentro del nuevo Código Técnico de la Edificación, aunque hay que reconocer que, de momento, sin éxito, de una normativa que nos permite conocer, antes de construir la vivienda, el potencial riesgo que la misma va a tener en el futuro con relación al radón.

MEDIDA DEL RADON Y EFECTOS SOBRE LA SALUD

Como síntesis de todo lo expuesto es preciso distinguir entre lo que sobre el radón aparece

PORCENTAJE DE CASAS EN ESPAÑA PARA DISTINTAS CONCENTRACIONES DE RADON

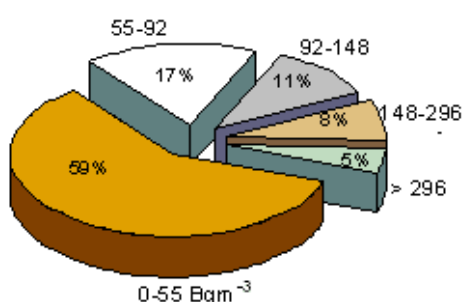


Fig. 3. Datos de concentraciones obtenidos de

demostrado científicamente y aquellos otros aspectos o cuestiones que todavía necesitan una confirmación definitiva.

Sobre el radón está científicamente comprobado y, por tanto, es aceptado:

1. Su origen, sus características físico-químicas y su carácter de elemento cancerígeno
2. Que la dosis debida a su presencia en el aire que respiramos en el interior de los edificios representa alrededor del 50% del total de la recibid por la población como consecuencia de su exposición a la radiación natural.
3. Que su presencia en elevadas concentraciones en el aire de las minas de uranio le hace corresponsable de la existencia de un incremento significativo en el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón entre los trabajadores de las mismas.

En cambio, es necesario profundizar en la investigación en el campo del radon con el fin de:

1. Identificar y localizar a lo largo del tracto respiratorio las células blanco sobre las que el radón y sus descendientes de vida corta actúan de manera más específica.
2. Conocer con mayor precisión las dosis de radiación recibidas por las células.
3. Saber si los factores de riesgo aplicables a los mineros sometidos a altas concentraciones de radón son extrapolables a la población en general.
4. Identificar de forma precisa todas las zonas de riesgo potencial de exposición al radón dentro del país.

A la espera de los resultados de estas investigaciones, la mejor forma de minimizar los efectos del radón en las viviendas es, como hemos indicado, su prevención. Esta incluye, principalmente, su correcta definición y evaluación de sus fuentes y el adecuado diseño previo de las viviendas que hagan innecesario el empleo de técnicas de reducción de los niveles de radón cuando aquellas se encuentren ya construidas. Dado que en estas tareas de prevención están involucrados todos los sectores de la sociedad, es evidente que el radón constituye y constituirá en los próximos años un tema de indudable interés para todos.

VARIACION ESTACIONAL DEL RADON

Existe una variación estacional de los niveles de radón en interiores de viviendas cuando, en especial,

éstas poseen una ventilación natural. En verano, con temperaturas en el exterior iguales o superiores a las del interior de las casas, los movimientos convectivos del aire dentro apenas existen. Si la temperatura fuese, en cambio, de unos 10° C superior dentro de las casas (periodo invernal) se producen fuerzas convectivas existiendo entonces una pequeña depresión interior cifrada en unos 10 Pa. Si el suelo bajo la vivienda es la principal fuente de radon, esa depresión interior es un gran inconveniente pues hace aumentar la concentración de dicho gas en el interior. Si, en cambio, la fuente de gas radón está en los materiales de construcción y en el agua de uso doméstico de la vivienda aquella depresión puede jugar a nuestro favor. Igualmente la humedad ambiente, que cambia de una estación del año a otra, hace variar la densidad de aerosoles los cuales mantienen a los descendientes del radón en el aire de forma “vinculada” a aquellos, al menos una parte del total de los mismos.

La concentración de radon experimenta por tanto un ciclo anual con los máximos y mínimos ya indicados y con periodos de ascenso (otoño) y disminución (primavera) Igualmente en verano las casas mantienen durante más tiempo las ventanas abiertas con lo que disminuyen las concentraciones de radon. Luego la variación estacional de las concentraciones de radon en el interior de las viviendas depende de varios factores: tipo de casa, fuente del radón, hábitos de los habitantes, sistema de ventilación, calentamiento de la casa y climatología exterior.

La variación estacional de los niveles de radón en interiores indica que existe hasta un factor de dos más alto en una estación del año que en otra. Esto tiene como implicación que los valores medios de los niveles medidos en casas presentan una incertidumbre no causada por la técnica de medida sino por la naturaleza del propio radón. Cada casa se dice que tiene su propia vida para el radón, de modo que no es posible generalizar las medidas en una vivienda y creer que el comportamiento de las vecinas es el mismo.

Cuando se pretende conocer el valor de la concentración anual de radón en una vivienda ($Bq\text{m}^{-3}\text{año}^{-1}$) para así tomar, si es el caso, las medidas de remedio a aplicar según la legislación existente, no nos sirve con una medición instantánea pues ya se ha visto la enorme variabilidad anual. Existen dos formas de llevarlo a cabo: una, más cara, consiste en realizar una medición en continuo y otra, menos onerosa, por medio de pequeños detectores denominados “pasivos” o de trazas nucleares (CR-39 suele ser el material plástico más empleado en estos detectores) Estos últimos se deben dejar expuestos al menos durante tres meses. De la lectura del número de impactos registrados en el detector de CR-39 y que han sido producidos por las partículas alfa provenientes de la desintegración del radón, se calcula la concentración teórica promedio

anual. Para ello se ha de utilizar un “factor de corrección estacional” (SCF) que pondere el tiempo durante el que ha estado expuesto el detector y la época del año. Los valores del SCF (Factor de Corrección Estacional) de la NRPB (Miles) se emplean en el sentido de multiplicar los valores promedios anuales de concentraciones que se estiman o calculan tras realizar medidas de exposiciones durante un periodo inferior a un año por dichos valores de SCF, diferentes según sea el mes en que comienza la exposición y, además, diferente según sea el periodo de tiempo que dure la exposición.

Hemos encontrado una alta y significativa correlación entre los valores de SCF utilizados en la bibliografía (NRPB, Miles) y los valores promedio mensual tanto de la fuerza del viento como de la temperatura del aire en exteriores

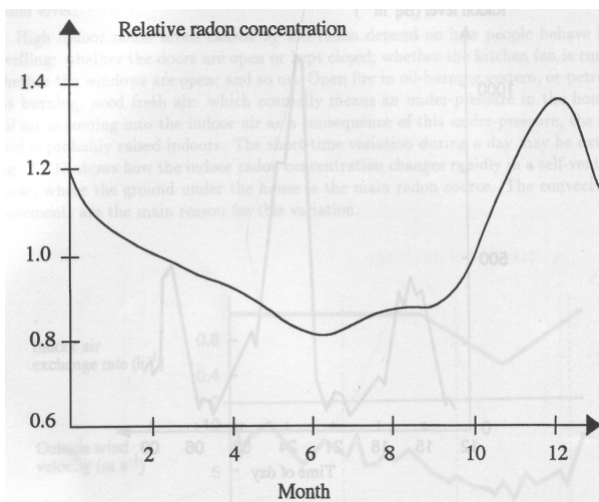


Fig.- 4 Variación de la Concentración Relativa del Radon a lo largo del año (Heller & Poulheim, 1992)

En la Fig.4 se muestran los valores de “concentración relativa de radón”, obtenidos por Heller y Poulheim (1992) y representa el cociente entre cada valor mensual y la concentración promedio mensual a lo largo del año, es decir, la suma de los valores anteriores dividido por doce meses.

$$\text{Concentrac promedmensual} \times 12 = \frac{1}{RRC} \times (\text{Concentmensualmedida} \times 12)$$

De esta forma, el inverso de RRC se puede asimilar al Factor de Corrección Estacional (SCF) para un mes de exposición

La forma acampanada de la gráfica de 1/RRC nos recuerda a la de la temperatura media mensual en los climas templados (Fig. 6) Definimos

un Factor Temperatura $10/(22-t)$ para el que se considera una temperatura de 22 °C en el interior de las casas. En la Figura 7 se puede ver la traza comparada del SCF propuesto para Inglaterra por la NRPB (Miles) y dicho Factor de Temperatura. El factor que modula el ajuste de ambas curvas es el término de temperatura fija del interior: 22 °C, el cual puede ser un tanto excesivo ya que la diferencia $(22^\circ\text{C} - t_{\text{med}})$ exterior nos daría el gradiente térmico entre el interior y el exterior de las viviendas para cada mes del año. Posteriormente se encuentra que existe una buena correlación lineal entre dicho valor del Factor de Temperatura y el SCF de la NRPB. Si

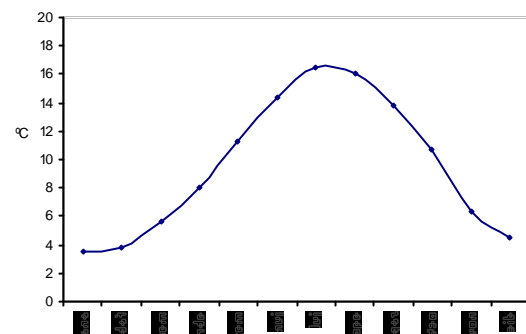


Figura 6 Variación anual de la temperatura media

se tiene en cuenta el viento promedio en el área de Londres se obtiene una ecuación de regresión múltiple que presenta una buena correlación (Ver Figura 8)

Es sabido que son fuerzas de gradiente de presión, más que simples procesos de difusión, los que responden de la entrada de gas radón en viviendas proveniente de los suelos bajo las mismas: ya sea a través de fisuras, grietas, canalizaciones, o a través de la solera de las casas.

La despresurización interior puede ser debida a muchas causas: efectos del viento y la temperatura, el efecto chimenea, calefacciones, sistemas de aire ventilado, las propias variaciones de la presión atmosférica asociadas a cambios meteorológicos de mayor escala, etc. Se ha demostrado, sin embargo, que uno de los factores

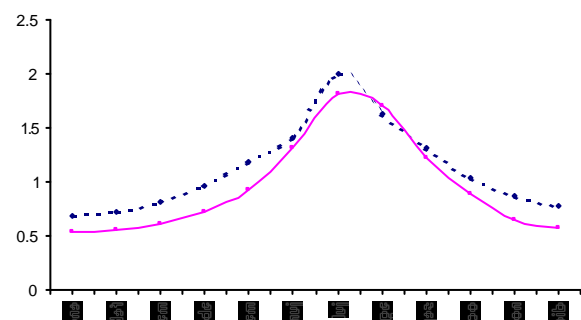


Fig.-7 Factor temperatura frente a SCF

más decisivos a la hora de ayudar a la entrada de gas radon desde el suelo es la marea barométrica diaria, especialmente con suelos de baja permeabilidad. Se cree que (Hintenlang, E & Al-Ahmady) dicha marea induce diferenciales de presión oscilantes del aire entre el interior de las viviendas y el contenido en el suelo bajo las soleras de las viviendas. Este fenómeno se da

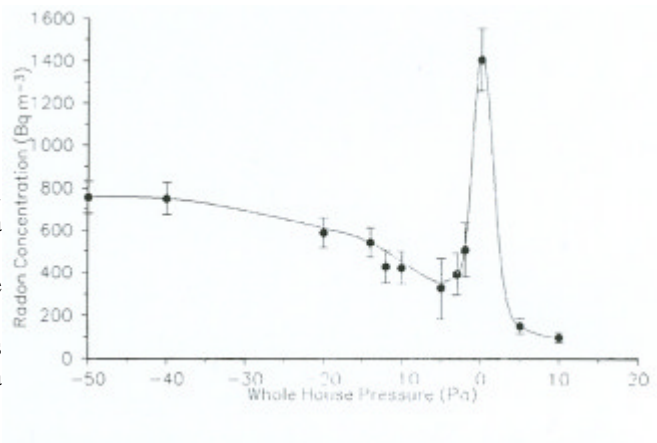


Fig.- 9 Valores de concentración de radón en interiores frente a las condiciones de presurización diferencial interior-exterior (Hintenlang & Al-Ahmady, 1992)

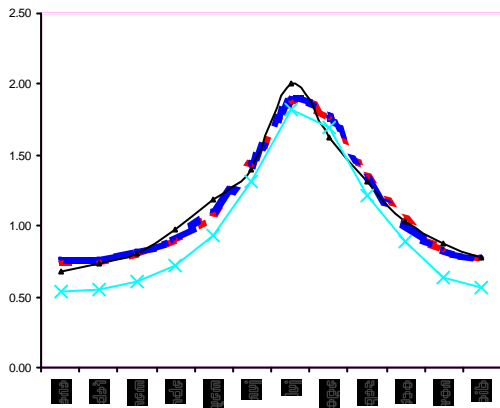


Fig. 8 : valores de SCF calculados por regresión múltiple frente a Temp. y viento (línea azul oscura a trazos), regresión simple frente al factor de temperatura (línea cian continua), valor teórico para Inglaterra (NRPB) (línea roja a trazos) y factor temperatura (línea negra continua)

siempre, aunque el forzamiento de entrada de radon que produzca pueda ser pequeño, pero sin necesidad de que la casa esté despresurizada. Estas experiencias corroboran también lo que dijimos arriba con respecto a minimizar el valor de los procesos de difusión como causantes de aporte de gas radon desde el suelo subyacente hacia el interior de las viviendas.

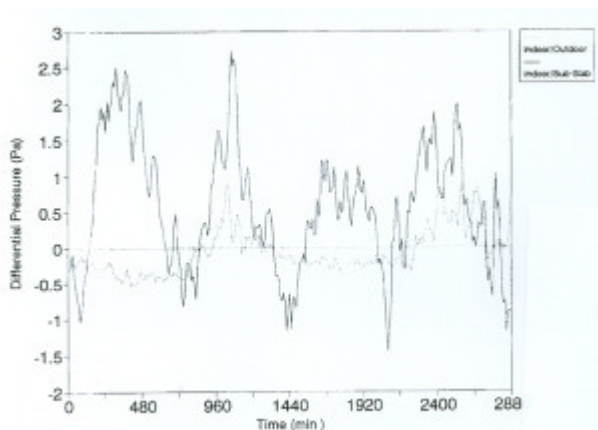


Fig.- 10 variación temporal de las presiones diferenciales promedio entre interior-exterior (línea de puntos) e interior-aire bajo la solera

La Figura 9 muestra valores de concentración de radón, promediados en 24 horas -bajo condiciones controladas de despresurización y presurización del interior frente al exterior. Curiosamente se observa que los máximos valores se tienen con condiciones neutras de presurización (diferenciales de menos de 1 Pa), cuando no es lo que en principio cabría esperar. Si se mide la presión atmosférica del aire dentro y fuera de la casa se comprueba que ambas están bien acopladas. Se ha comprobado la existencia de un pequeño ciclo diario con un máximo en amplitud de 0,5 Pa (Ver Fig. 10) para la diferencia de estas presiones intra y extramuros. De todo ello se puede decir que la presión en el interior de las viviendas responde casi instantáneamente a las variaciones de la presión en el exterior.

Cuando se mide, sin embargo, los diferenciales de presión: interior de la casa / aire dentro de los suelos bajo la solera, se sabe que existe una oscilación igualmente, en este caso semidiurna y de mayor amplitud que la comentada antes -casi un orden de magnitud, con picos de hasta 4 Pa- a la vez que desacoplada con ella (Fig. 10). Este ciclo semidiurno es el que da la explicación de los elevados valores de concentración del radón bajo condiciones de gradiente neutro de presión interior-exterior de la casa: La marea barométrica del aire fuera de la casa, también oscilando en ciclo semidiurno, va adelantada en fase con respecto a la curva de diferencial de presión entre el interior y el sustrato de aire bajo la solera.

ESTUDIO DE VIABILIDAD Y EFECTIVIDAD DE LAS ACCIONES DE REMEDIO FRENTE A LA PRESENCIA DE GAS RADON EN EDIFICIOS YA EXISTENTES

Se presenta en este trabajo las características de un proyecto de investigación de

la Universidad de Cantabria y el CSIC, financiado por el CSN (Consejo de Seguridad Nuclear)

Consiste en:

Una primera fase en la que se estudia la importancia de los diferentes mecanismos que teóricamente posibilitan la entrada de radón en las viviendas, en especial los de tipo meteorológico.

En una segunda fase se pretende estudiar durante algo más de dos años, la viabilidad y la efectividad de las acciones de remedio –generalmente de tipo arquitectónico– frente a la

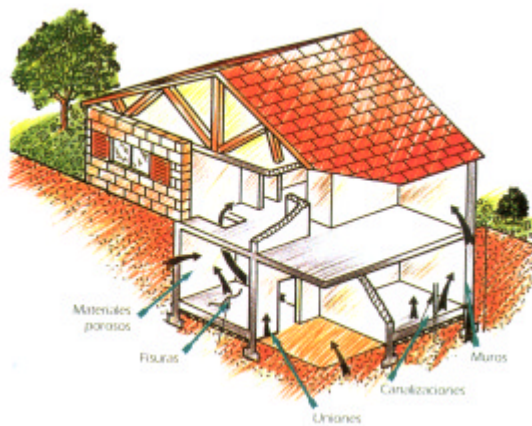


Fig.3- Principales fuentes de Radón en una casa

presencia de gas radón en los edificios existentes. Para ello se ha construido un módulo, ya utilizado en la primera fase que se desarrolla actualmente, que simulará una construcción de tipo unifamiliar con materiales convencionales y sistemas constructivos típicos de España.

Realizar las intervenciones pertinentes de obra con el fin de evaluar la eficacia de las soluciones constructivas (incorporación de membranas, extractores, rejillas, etc.) sin perturbar la habitabilidad de los edificios existentes.

Previo a la construcción del módulo, se han tomado los siguientes datos caracterizadores del terreno: Permeabilidad del suelo y alrededores de la construcción, caracterización radiológica del suelo: valores de concentraciones de los isótopos radiactivos ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , radiación gamma precedente del mismo, análisis granulométrico del suelo del solar y contenido de humedad del terreno

Los parámetros que se medirán, antes y después de introducir las medidas preventivas, serán:

– Variables meteorológicas locales: temperatura, presión, viento, lluvia, humedad relativa, diferencias de presión entre planta superior-suelo, planta superior-exterior, planta superior-sótano, sótano-

Suelo –Evaluación de la concentración de partículas presentes en los recintos –Concentración de Radón a 80 cm de profundidad –Concentración de Radón, Factor de equilibrio y Fracción libre en los recintos – Temperaturas en el suelo a 80 cm de profundidad

Tanto el sistema constructivo como el diseño del módulo se han propuesto para reproducir las condiciones más desfavorables respecto a la protección de radón en el caso de una vivienda tipo.

Los resultados obtenidos de las mediciones serán objeto de análisis aplicando los modelos existentes para este tipo de estudios, con el fin de obtener una representación adecuada de los procesos de entrada del gas, y de la eficiencia de la evacuación u obstaculización según la actuación de remedio que se trate y decidir cual de las medidas empleadas se adapta mejor no solo a tipología constructiva típica de nuestro país sino a las condiciones climáticas del mismo.

BIBLIOGRAFIA

Hintenlang D.E. , Al-Ahmady,K.K., "Pressure Differentials for Radon Entry Coupled to Periodic Atmospheric Pressure Variations". Indoor Air, 2, 208-215 (1992)

Heller H., Poulheim,K.F. "Die exposition durch radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung". 1992. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 19, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Miles, J.C.H. "Temporal variation of radon levels in houses and implications for radon measurement strategies", Radiation Protection Dosimetry, Vol.93, nº 4 , (2001) 369-375

Quindos,L.S. et al. "Natural gamma radiation map (MARNA) and indoor radon levels in Spain". Environment International,29 (2004) 1091-1096

Quindos,L.S., Fernández,P.L., Sainz,C., Martín Matarranz, J.L.,Arteche,J.L. . " Natural radiation exposure in the Campo de Arañuelo region in the surroundings of Almaraz nuclear power station (Spain)". Journal of environmental Radioactivity, 79, (2005),347-354