Diseño de Mapas Predictivos de Exposición al Radón basados en Información Geológica

Alicia Fernández Villar

Grupo Radón

Cátedra de Física Médica

Universidad de Cantabria

ÍNDICE

- **¿Qué es el Radón? Factores que favorecen la concentración del radón en las viviendas**
- **Estudio de los Factores**

1. Modelo de Radón y de Varianzas
2. Modelos basados en mapa de tasa de exposición a la radiación gamma natural
    - 2.1 Modelo MARNA
    - 2.2 Modelo de Radio
3. Modelos geológicos
    - 3.1 Modelo de fallas
    - 3.2 Modelo de materiales kársticos
    - 3.3 Modelo de materiales arcillosos
    - 3.4 Modelo de materiales cuaternarios
    - 3.5 Modelos Litoestratigráficos
        - 3.5.1 Modelo de permeabilidades
        - 3.5.2 Modelo de origen de las litoestratigrafías
        - 3.5.3 Modelo de tipos de rocas

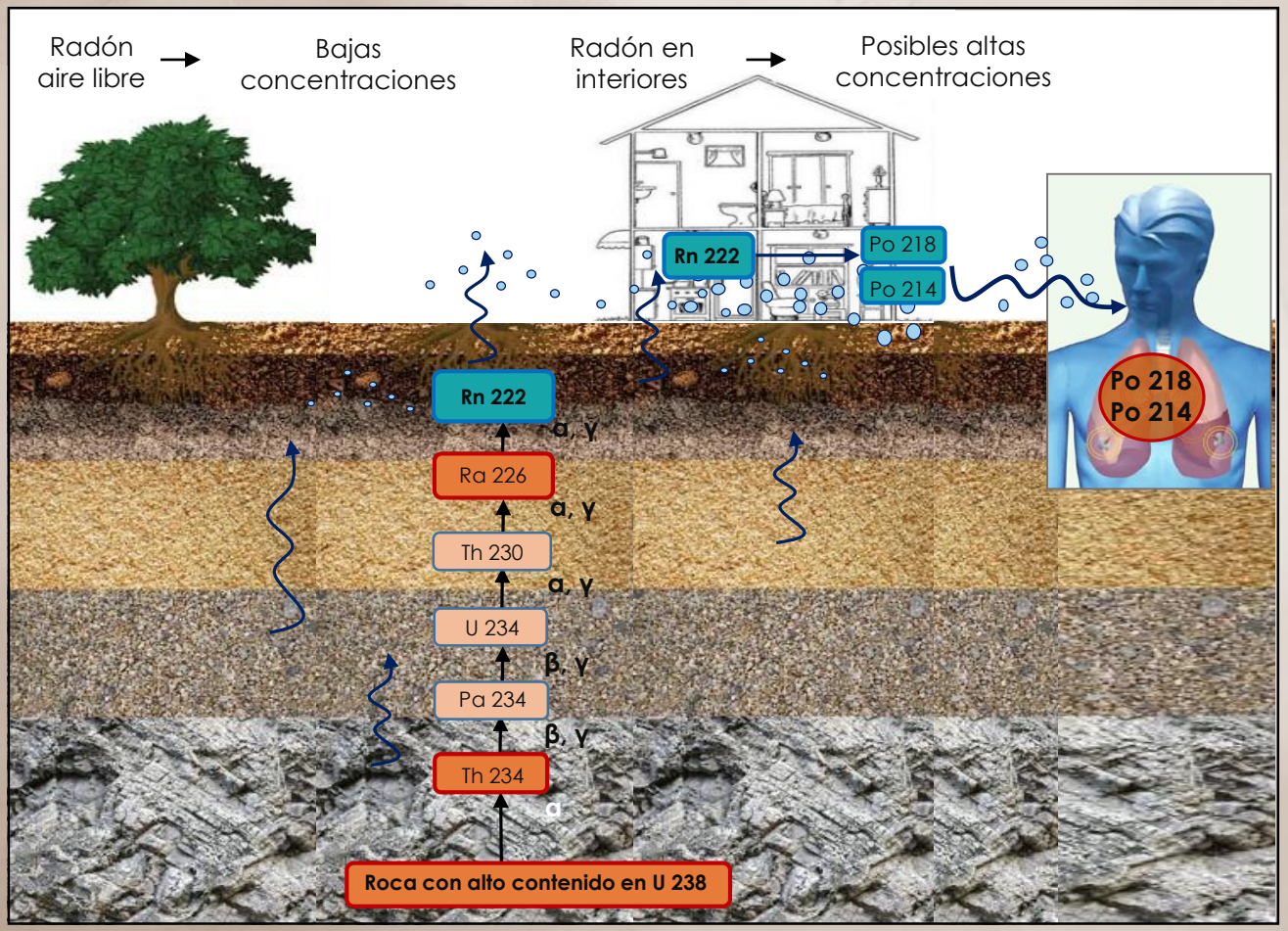
- **Análisis Multivariable**
- **Matriz de Correlación de Componentes principales**
- **Conclusiones**

¿Qué es el Radón?

Gas inerte de origen natural generado en la cadena de desintegración del Uranio

^{222} Rn No entraña peligro → **PELIGROSIDAD** → **Descendientes (^{218} Po y ^{214} Po)**

Estado sólido
Emisores alfa



- Se vinculan a las partículas del aire
- Se incorporan al organismo por inhalación

Responsable entre el 3% y el 14% de las muertes por cáncer de pulmón

WHO Handbook on indoor radon" OMS.2009

IMPORTANCIA

Localizar zonas en las que exista una mayor probabilidad de encontrar viviendas con altas concentraciones de radón.

¿Qué es el Radón?

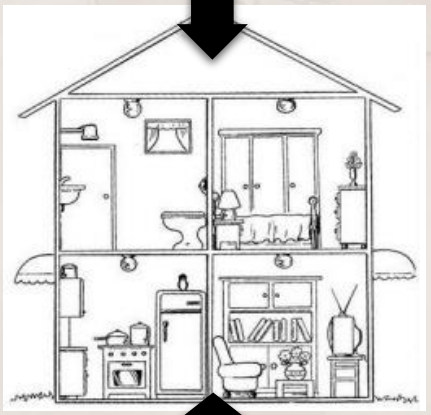
Factores que favorecen la concentración de radón en las viviendas

EDAD DE LA VIVIENDA

TIPO DE VIVIENDA
(Unifamiliar, Adosada…)

TIPO CONSTRUCCIÓN
(Piedra, Ladrillo,Hormigón..)

CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA



Pero también influyen otro tipo de **factores:**

El INTERCAMBIO DE AIRE
entre el interior y exterior de la vivienda

METEOROLOGÍA Y TOPOGRAFÍA

Las **VÍAS DE ENTRADA** que el radón encuentra para introducirse

OTROS FACTORES

PERMEABILIDAD del terreno

FACTOR PRINCIPAL
La **GEOLOGÍA** sobre la que se asienta la vivienda

El ESTADO DE LAS ROCAS
(grado fracturación, grado saturación de agua en los poros…)

1.Modelo de Radón y Varianzas

Obtención de los datos

Datos obtenidos en la Ampliación del Mapa Español del Radón tras varios convenios entre el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y Universidad de Cantabria (UC) y datos recopilados del propio Grupo Radón

Datos Previos UC
(1989-2010)
2.117 datos

1ª Campaña
Ampliación Mapa Español
(2011-2013)
5.556 datos

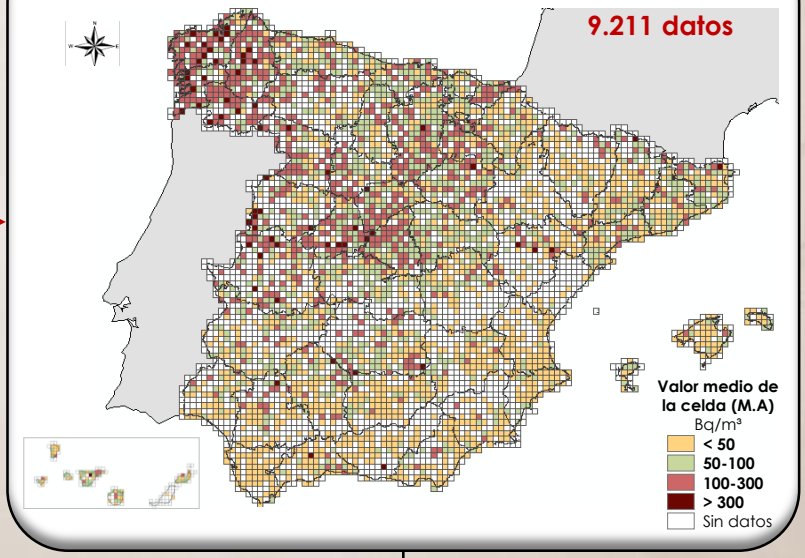
Datos añadidos
(2012-2013)
344 datos

2ª Campaña
Ampliación Mapa Español
(2013-2014)
1.194 datos

- **Malla de 10x10 km²**
- Medidas en cada celda según criterios:
  1. **Superficiales**
  2. **Poblacionales**
  3. **Litoestratigráficos**
  4. **Potencial de radón** (Proy.MARNA)
- **Mediciones en viviendas:** planta baja-primera planta, con **detectores de trazas CR-39** durante 3-6 meses con un protocolo de colocación

Control de calidad de las medidas del laboratorio:
- Validado por la PHE (Public Health England)
- Acreditación ISO 9001
- Acreditación ISO 17025, ENAC (en proceso)

AMPLIACIÓN MAPA ESPAÑOL DEL RADÓN



Nuevos datos UC
(2014-2016)
1.709 datos

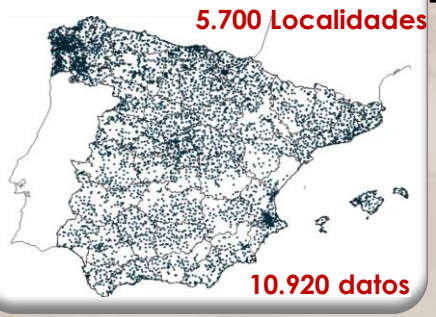
DATOS DE ESTUDIO

10.920 datos **5.700 Localidades**

1.Modelo de Radón y Varianzas

Elaboración de los modelos

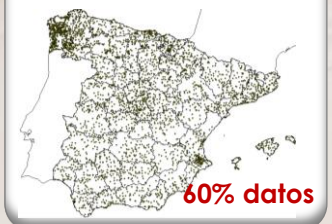
DATOS DE ESTUDIO



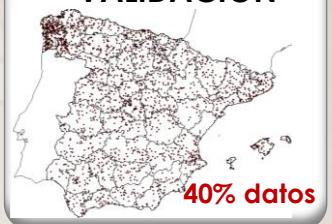
Cálculo de la Media Aritmética

Muestreo Aleatorio Simple

ANÁLISIS



VALIDACIÓN

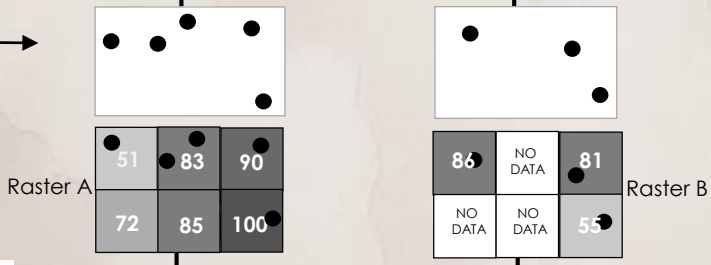


ArcMap

Modelo de Interpolación IDW

(Distancia Inversa Ponderada)

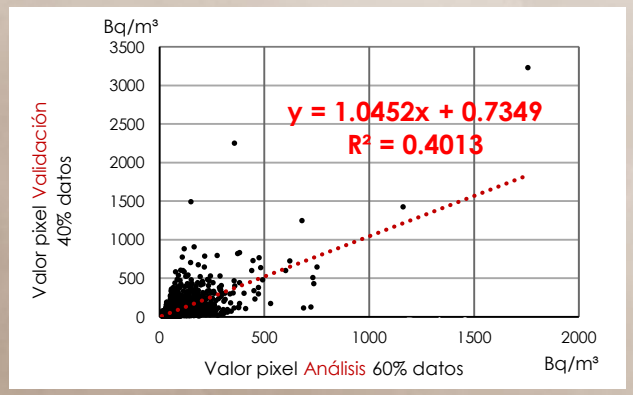
Tamaño de pixel 1 x 1



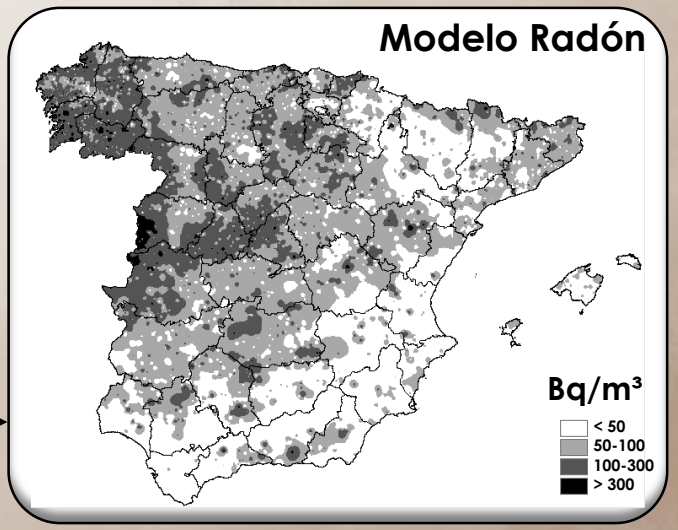
Combinar Raster A + Raster B

Correlación $R^2 > 0.30$
Modelo Aceptable

ELABORACION MAPA 100% DATOS



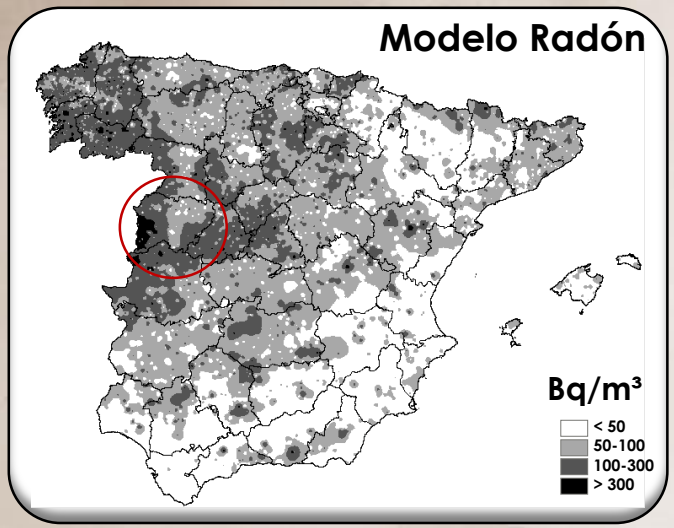
MODELO TEÓRICO



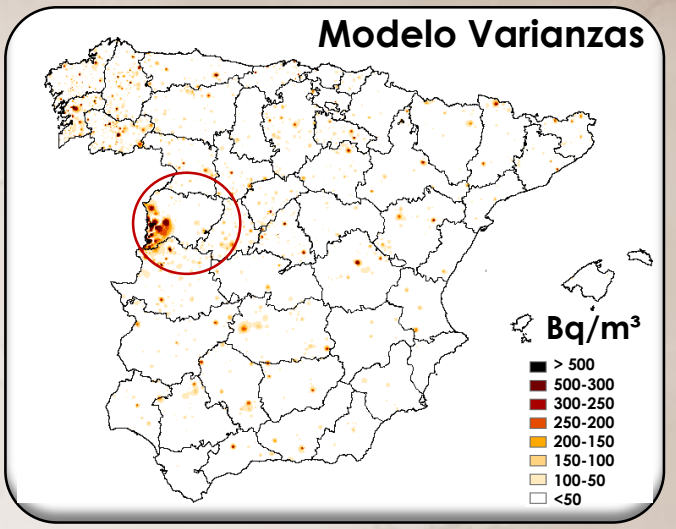
1.Modelo de Radón y Varianzas

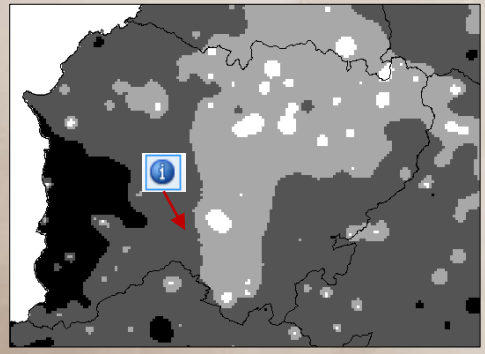
Elaboración de los modelos

MODELO TEÓRICO



MAPA DE VARIANZAS

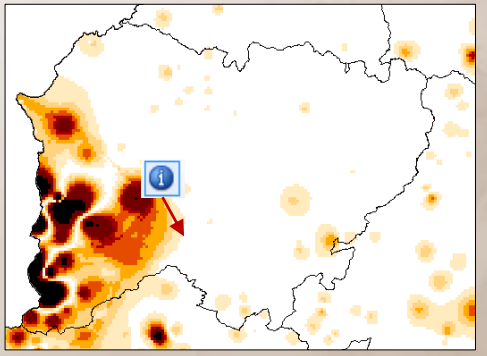




Radon
153.986069

Varianzas
9.371441

154 ± 9 Bq/m³



2.Modelos de exposición gamma externa

2.1 MODELO MARNA (Mapa de radiación gamma natural)

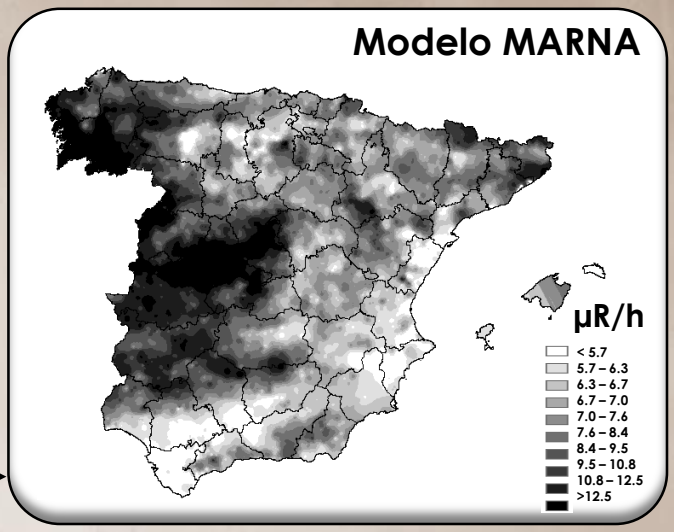
Muestreo Aleatorio Simple

ANÁLISIS 60%

VALIDACIÓN 40%

Combinar Raster A + Raster B

Correlación $R^2 > 0.30$
Modelo Aceptable



2.2 MODELO DE RADIO (Cálculo de contribución al MARNA)

La tasa de exposición total en una roca o suelo esta definida por:

$\mu Rh = 0.0048\ (Bq/kg\ ^{40}K) + 0.051(Bq/kg\ ^{226}Ra) + 0.076\ (Bq/kg\ ^{232}Th)$

$\mu Rh = 1{,}505\ (\%\ ^{40}K) + 0{,}653\ (ppm\ ^{238}U) + 0.287\ (ppm\ ^{232}Th)$

Equivalencias

Elemento	Tasa de Exposición (µR/h)	Tasa de dosis absorbida en aire (nGy/h)	Actividad (Bq/kg)
1 % de potasio	1,505	13,07	310
1 ppm eq U	0,653	5,67	12,3
1 ppm eq Torio	0,287	2,49	4,0

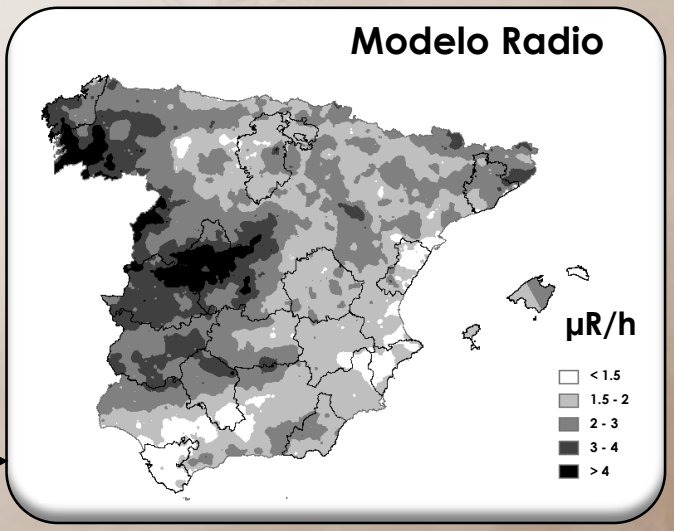
Muestreo Aleatorio Simple

ANÁLISIS 60%

VALIDACIÓN 40%

Combinar Raster A + Raster B

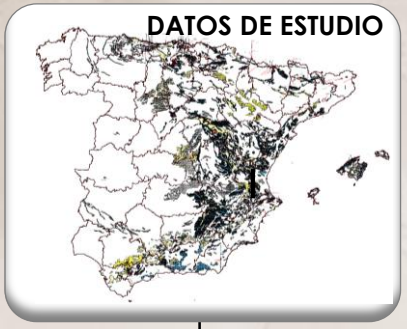
Correlación $R^2 > 0.30$
Modelo Aceptable



3. Modelos Geológicos

3.1 FALLAS

3.2 MATERIALES KÁRSTICOS



3.3 MATERIALES CUATERNARIOS

3.4 MATERIALES ARCILLOSOS

Raster A, B, C, D

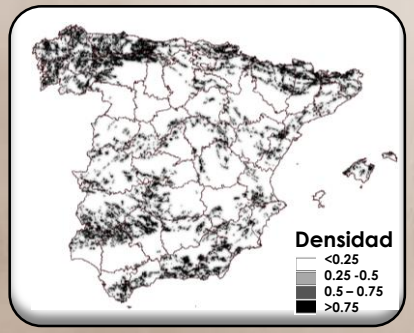
Presencia (valor 1)
Ausencia (valor 0)

Malla de puntos de 2,5 x 2,5 km

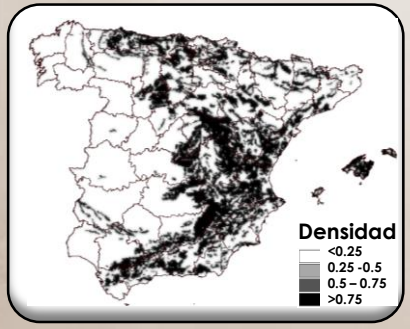
Intersección

Intersección

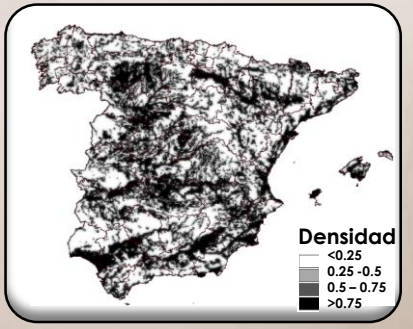
Modelo Fallas



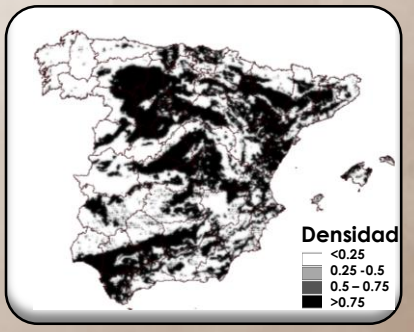
Modelo Karst



Modelo Cuaternario



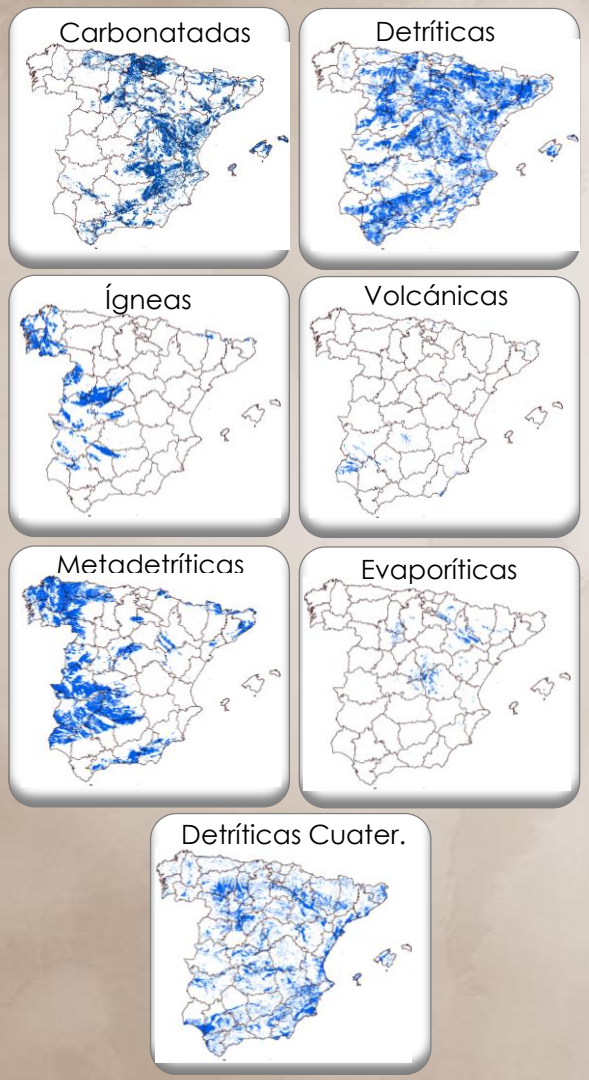
Modelo Arcillas



3. Modelos Geológicos: Litoestratigrafías

3.5 MODELOS SEGÚN EL ORIGEN DE LAS LITOESTRATIGRAFÍAS

DATOS DE ESTUDIO



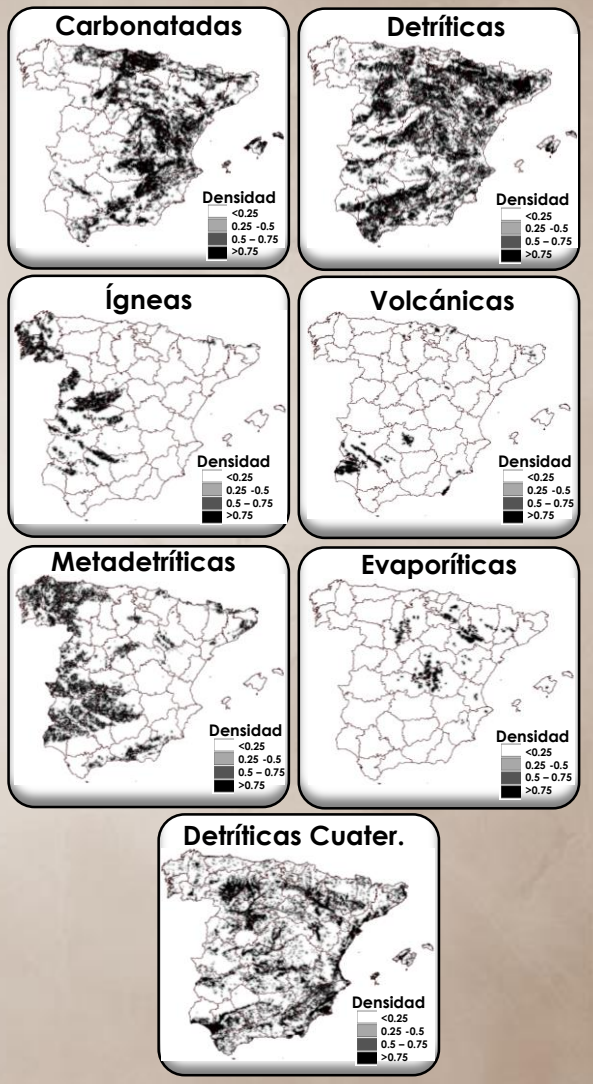
Raster A, B, C, D…

Presencia (valor 1)
Ausencia (valor 0)

Malla de puntos de 2,5 x 2,5 km

Intersección

Modelos Origen Litoestratigrafías



3. Modelos Geológicos: Litoestratigrafías

3.6 MODELOS SEGÚN EL TIPO DE ROCA DE LAS LITOESTRATIGRAFÍAS

DATOS DE ESTUDIO

330 Tipos de Rocas

Raster A, B, C, D…

Presencia (valor 1)
Ausencia (valor 0)

Malla de puntos de
2,5 x 2,5 km

Intersección →

Modelos de los 330 Tipos de Rocas

3.7 MODELO DE PERMEABILIDAD DE LAS LITOESTRATIGRAFÍAS

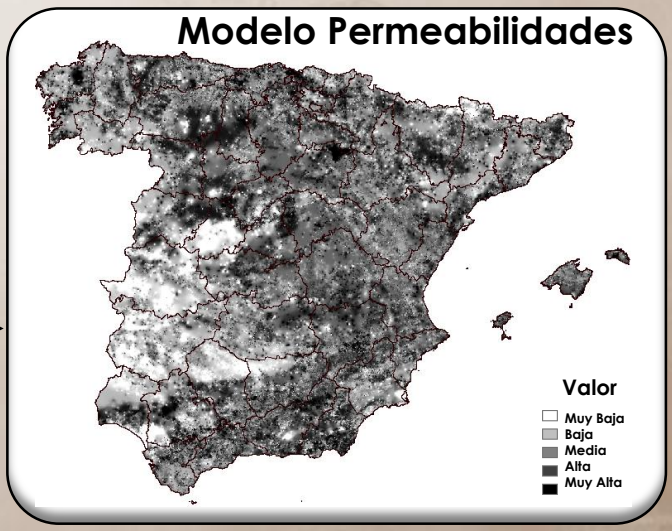
DATOS DE ESTUDIO

5 Tipos perm.

Malla de puntos de
2,5 x 2,5 km

Intersección →

Modelo Permeabilidades



4. Análisis Multivariable

Tasa de exposición radiación gamma externa

MARNA

Radio

GEOLOGÍA

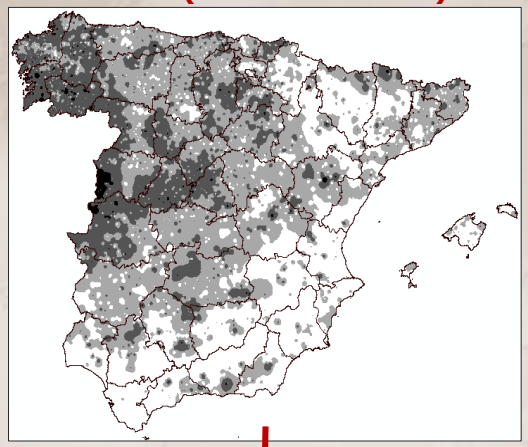
Fallas

Karst

Cuaternario

Arcillas

Radón (Modelo Teórico)



ANÁLISIS MULTIVARIABLE

Matriz de Correlación de Componentes Principales

Layer	Radón Teorico	MARNA	Radio	Arcillas	Cuaternario	Karst	Fallas	Permeabilidad	Carbonatadas	Detr.Cuater.	Detríticas	Evaporíticas	Ígneas	Metadetríticas	Volcánicas	.....
Radón Teorico	1	0.46	0.46	-0.16	-0.06	-0.26	0.05	-0.11	-0.16	-0.12	-0.16	-0.04	0.27	0.17	+0.03	
MARNA	0.46	1.00	1.00	-0.35	-0.09	-0.45	0.11	-0.35	-0.61	-0.23	-0.31	-0.09	0.51	0.35	0.01	
Radio	0.46	1.00	1.00	-0.35	-0.09	-0.45	0.11	-0.35	-0.62	-0.23	-0.31	-0.09	0.52	0.35	0.01	
Arcillas	-0.16	-0.35	-0.35	1.00	0.22	0.04	-0.30	0.25	0.00	0.25	0.50	0.12	-0.25	-0.41	-0.07	
Cuaternario	-0.06	-0.09	-0.09	0.22	1.00	0.14	-0.19	0.10	-0.22	0.53	0.04	0.03	-0.68	-0.14	-0.07	
Karst	-0.26	-0.45	-0.45	0.04	-0.14	1.00	0.03	0.17	0.61	-0.09	0.00	0.11	-0.21	-0.26	-0.03	
Fallas	0.05	0.11	0.11	-0.30	-0.19	0.03	1.00	-0.11	0.04	-0.28	-0.22	-0.06	0.05	0.24	0.08	
Permeabilidad	-0.11	-0.35	-0.35	0.25	0.10	0.17	-0.11	1.00	0.16	0.21	0.22	0.01	-0.27	-0.22	-0.07	
Carbonatadas	-0.16	-0.61	-0.62	0.00	-0.22	0.61	0.04	0.16	1.00	-0.20	-0.18	-0.02	-0.20	-0.36	-0.05	
Detr.Cuater.	-0.12	-0.23	-0.23	0.25	0.53	-0.09	-0.28	0.21	-0.20	1.00	-0.09	0.00	-0.17	-0.25	-0.07	
Detríticas	-0.16	-0.31	-0.31	0.50	0.04	0.00	-0.22	0.22	-0.18	-0.09	1.00	-0.02	-0.25	-0.41	-0.10	
Evaporíticas	-0.04	-0.08	-0.08	0.12	0.03	0.11	-0.06	0.01	-0.02	0.00	-0.02	1.00	-0.04	-0.07	-0.02	
Ígneas	0.27	0.51	0.52	-0.25	-0.68	-0.21	0.05	-0.27	-0.20	-0.17	-0.25	-0.04	1.00	0.02	-0.02	
Metadetríticas	0.17	0.35	0.35	-0.41	-0.14	-0.26	0.24	-0.22	-0.36	-0.25	-0.41	-0.07	-0.02	1.00	0.04	
Volcánicas	-0.03	0.01	0.01	-0.07	-0.07	-0.03	0.08	-0.02	-0.05	-0.07	-0.10	-0.02	-0.02	0.04	1.00	
.....	0.05	0.53	0.53	-0.23	-0.08	-0.36	0.09	-0.29	-0.26	-0.21	-0.21	-0.07	0.39	0.31	+0.05	

Permeabilidad

LITOESTRATIGRAFÍAS

Origen

Carbonatadas

Detríticas Cuat.

Detríticas

Evaporíticas

Ígneas

Metadetríticas

Volcánicas

330 Modelos de rocas

Tipos Rocas

5. Matriz de Correlación de Componentes Principales

	Radón Teórico	MARNA	Radio	Arcillas	Cuaternario	Karst	Fallas	Permeab.	Carbonata.	Detrit.Cuater.	Detríticas	Evaporíticas	ígneas	Metadetríti.	Volcánicas	Rocas relacion Rn
Radón Teórico	1.00	**0.54**	**0.58**	**-0.24**	**0.15**	**-0.20**	**0.10**	**0.24**	**-0.10**	**-0.12**	**-0.16**	**-0.04**	**0.39**	**0.27**	**-0.03**	**0.44**
MARNA	**0.54**	1.00	0.84	-0.31	0.08	-0.25	0.09	0.26	-0.21	-0.23	-0.31	-0.08	0.65	0.45	0.01	0.60
Radio	**0.58**	0.84	1.00	-0.30	0.14	-0.29	0.15	0.35	-0.42	-0.23	-0.31	-0.08	0.64	0.55	0.01	0.60
Arcillas	**-0.24**	-0.31	-0.30	1.00	-0.14	0.12	-0.11	-0.21	0.00	0.29	0.50	0.12	-0.25	-0.41	-0.07	-0.33
Cuaternario	**0.15**	0.08	0.14	-0.14	1.00	-0.14	0.30	0.19	-0.22	0.63	0.04	0.03	-0.08	-0.20	-0.07	0.19
Karst	**-0.20**	-0.25	-0.29	0.12	-0.14	1.00	-0.07	-0.37	0.70	-0.09	0.00	0.11	-0.21	-0.36	-0.03	-0.30
Fallas	**0.10**	0.09	0.15	-0.11	0.30	-0.07	1.00	0.23	0.04	-0.20	-0.22	-0.06	0.05	0.34	0.08	0.11
Permeabilidad	**0.24**	0.26	0.35	-0.21	0.19	-0.37	0.23	1.00	0.16	0.21	0.22	0.01	-0.27	-0.22	-0.07	-0.20
Carbonatadas	**-0.10**	-0.21	-0.42	0.00	-0.22	0.70	0.04	0.16	1.00	-0.20	-0.18	-0.02	-0.20	-0.30	-0.05	-0.26
Detrit.Cuater.	**-0.12**	-0.23	-0.23	0.29	0.63	-0.09	-0.20	0.21	-0.20	1.00	-0.08	0.00	-0.17	-0.25	-0.07	-0.21
Detríticas	**-0.16**	-0.31	-0.31	0.50	0.04	0.00	-0.22	0.22	-0.18	-0.08	1.00	-0.02	-0.25	-0.41	-0.10	-0.21
Evaporíticas	**-0.04**	-0.08	-0.08	0.12	0.03	0.11	-0.06	0.01	-0.02	0.00	-0.02	1.00	-0.04	-0.07	-0.02	-0.07
ígneas	**0.39**	0.65	0.64	-0.25	-0.08	-0.21	0.05	-0.27	-0.20	-0.17	-0.25	-0.04	1.00	-0.02	-0.02	0.30
Metadetríticas	**0.27**	0.45	0.55	-0.41	-0.20	-0.36	0.34	-0.22	-0.30	-0.25	-0.41	-0.07	-0.02	1.00	0.04	0.31
Volcánicas	**-0.03**	0.01	0.01	-0.07	-0.07	-0.03	0.08	-0.07	-0.05	-0.07	-0.10	-0.02	-0.02	0.04	1.00	-0.05
Rocas relacion Rn	**0.44**	0.60	0.60	-0.33	0.19	-0.30	0.11	-0.20	-0.26	-0.21	-0.21	-0.07	0.30	0.31	-0.05	1.00

Selección de variables con relación positiva con el radón

- Zonas de elevada exposición a la Radiación Gamma Natural (MARNA)
- Zonas con alta contribución de ^{226} Radio
- Zonas de Materiales Cuaternarios
- Presencia de Fallas
- Zonas de permeabilidades bajas
- Litoestratigrafías de origen ígneo
- Litoestratigrafías de origen metadetrítico
- 122 rocas con correlación positiva

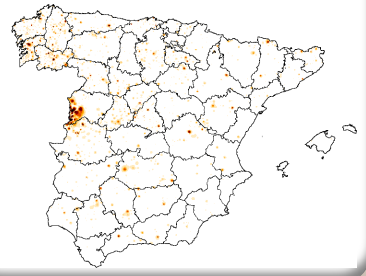
Ajuste por regresión lineal múltiple

ECUACIÓN

$(Bq/m^3)\ y = ax_1 + bx_2 + cx_3 \ldots$

+

MAPA DE VARIANZAS



MAPA PREDICTIVO DE EXPOSICIÓN AL RADÓN

Modelo Teórico
+
Mapa de Varianzas
+
Ecuación

CONCLUSIONES

- **El Mapa Predictivo de Exposición al Radón generado permitirá identificar de manera numérica la posible concentración de radón en las viviendas** de una zona ofreciendo un dato de concentración con un rango de error para cada km^2 del territorio nacional (**Concentración en Bq/m^3 ± Error**)

- Es un **mapa activo** que evolucionará progresivamente con la permanente actualización e incorporación de datos.

- Los resultados previos confirman que las **áreas de elevado nivel de radón se relacionan en gran medida con la geología** sobre la que se asientan las edificaciones.

- Será **necesario ampliar el estudio a diferentes parámetros geológicos** recopilando la mayor información posible de las diferentes unidades litoestratigráficas para generar un mapa que muestre unidades geológicas homogéneas que identifiquen áreas que clasifiquen el riesgo potencial al radón.

- A pesar de que el número de medidas en España se ha ido incrementando con las últimas campañas de muestreo, existen áreas donde el número de mediciones sigue siendo bajo: es **necesario aumentar el número de medidas** en zonas donde la cobertura sea insuficiente.

- La información generada **facilitará las posibles estrategias de protección y planificación** a nivel individual, estatal, autonómico o local. Siendo de gran utilidad para la adaptación de la normativa española en protección radiológica respecto a la Directiva Europea COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM

Gracias por su atención