

ALGUNAS RESPUESTAS RADIOMÉTRICAS DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DEL MACIZO HESPÉRICO

E. SUÁREZ (*)

J. A. FERNÁNDEZ AMIGOT (**)

M^a. C. MORO (***)

J. BOTAS (**)

SUÁREZ, E., FERNÁNDEZ, AMIGOT, J.A., MORO, M^a.C. & BOTAS, J. (1997): Algunas respuestas radiométricas de las formaciones geológicas del Macizo Hespérico. [**Some radiometric answers of the geological formations of the Spanish Hercynian Belt.**]. *Stvd.Geol.Salmant.*, **33**: p. 41-58. Salamanca.

(FECHA DE RECEPCIÓN: 1997-05-13) (FECHA DE ADMISIÓN: 1997-06-15) (ÚLTIMA REVISIÓN: 1997-11-20)

RESUMEN: Se analiza, en una superficie de 80.000 km² del Macizo Hespérico, algunas de las correlaciones entre actividad y geología.

Aproximadamente un 90% de la zona estudiada ha sido cubierta por prospecciones radiométricas aéreas con una red de 1 km de malla usando espectrómetros multicanales para la discriminación de Uranio, Torio y Potasio. Los registros de gammas totales han sido convertidos a microRoentgen/hora a nivel del suelo, utilizando las correlaciones tierra-aire obtenidas por un procedimiento empírico

(*): Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). C/. Justo Dorado, 11. 28040 Madrid

(**): Empresa Nacional del Uranio (ENUSA). C/. Santiago Rusiñol, 12. 28040 Madrid

(***): Universidad de Salamanca. Dpto. de Geología. Facultad de Ciencias, Plaza de la Merced s.n. 37008 Salamanca

Palabras clave: Radiometría, Prospección aérea, Formaciones geológicas, Macizo Hespérico, España.

ABSTRACT: The purpose of this work is to analyze in a surface of about 80.000 km² of the Spanish Hercynian Belt some of the existing correlations between activity and geology.

Approximately a 90% of the studied zone has been covered by radiometric airborne surveys with a grid of 1km using multichannel spectrometers for the Uranium, Thorium and Potassium discrimination. The total gamma accounts records have been translated to microRoentgen/hour at the soil level, using the air-land correlations obtained by empirical procedures.

Key words: Radiometrie, Airborne surveys, Geological Formations, Spanish Hercynian Belt, Spain.

1. INTRODUCCIÓN

En diciembre de 1991, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y la Empresa Nacional del Uranio S.A. (ENUSA) suscribieron un convenio para desarrollar en dos fases el Proyecto MARNA. De estas dos fases la primera finalizó con éxito en diciembre de 1995.

El objetivo final de la primera fase del Proyecto MARNA era la elaboración del Mapa de Radiación Gamma Natural de España a la escala 1:1.000.000.

Previamente se realizarían cuatro mapas pilotos a escala 1:50.000 de cuatro zonas radiométricas de especial interés (hojas nº 475, Lumbrales; nº 500, Villar del Ciervo; nº 525, Ciudad Rodrigo y nº 623, Malpartida de Plasencia). También se realizaría a la escala 1:200.000 el Atlas Radiométrico de dos Comunidades Autónomas sobre las que existiese buena cobertura radiométrica. Las comunidades elegidas fueron la de Extremadura y Castilla-León, que totalizan una superficie de 130.000 km². Los datos radiométricos extraídos más los generados aplicables a dicha superficie ascendieron a 120.000.

Para el desarrollo del Proyecto se utilizarían los datos radiométricos generados en los treinta años de existencia del antiguo Plan Nacional de Exploración e Investigación del Uranio (PNEIU), consistentes fundamentalmente en prospecciones aéreas a malla kilométrica, prospecciones autoportadas, prospecciones a pie y los datos generados dentro del Proyecto MARNA.

Las medidas aéreas son en unos casos de radiación gamma total y en otros medidas espectrométricas. Las medidas de radiación total son las primeras medidas aéreas que se obtuvieron a partir de 1968 y concluyeron en 1975. Para su obtención

se emplearon detectores de contaje total que cubrían la banda de energía gamma comprendida entre 0.4 y 2.7 MeV. Los vuelos se realizaban a altura inferior a 120 m y los registros se obtuvieron en banda continua y se corrigieron por altura de vuelo para reducirlos a un altura patrón de 70 m. Se trata de itinerarios realizados según líneas de vuelo separadas entre 600 y 1000 m que cubrieron una superficie de unos 200.000 km². Las medidas están en cuentas/segundo referidas a equipos específicos, de los que se conservan sus características. Los equipos utilizados fueron los SPAT-2 y SPAT-3 de Saphimo SRAT. Existen mapas elaborados de cuentas totales y las medidas están corregidas por altura de vuelo.

Las medidas espectrométricas se obtuvieron a partir de 1979. Para su obtención se utilizaron espectrómetros multicanales de 256 y de 512 canales que cubrían la banda de radiación gamma de energía comprendida entre 0.4 y 2.7 MeV. Se obtuvieron medidas de radiación total representadas en cuentas/segundo: potasio equivalente (en % de potasio), torio equivalente (ppm de torio) y uranio equivalente (ppm de uranio). Las medidas están corregidas y normalizadas por altura de vuelo, fondo del sistema, radiación cósmica y contribución intercanal (dispersión por efecto Compton). Existen los correspondientes mapas a escala 1:50.000 de distribución de cada uno de los elementos.

Además de estas medidas existen las correspondientes a prospecciones radiométricas autoportadas en las que los equipos de medida estaban instalados en vehículos todo terreno que realizaban medidas en los caminos practicables, obteniendo un registro continuo de medidas en diferentes tipos de cuentas/segundo o bien en $\mu\text{R/h}$. También se dispone de información detallada de las características de los equipos utilizados en las mediciones.

Las medidas terrestres cubrían la banda de energía gamma comprendida entre 0.4 y 2.7 MeV, que es la que se utiliza habitualmente para medir radionúclidos naturales.

Las prospecciones a pie regionales se realizaron a mallas comprendidas entre 200 y 1000 m y las de detalle a mallas comprendidas entre los 200 m y los 5 m y en algunos casos menores.

Este impresionante banco de datos, que ha sido reducido a unidades físicas (microRoentgen/hora, $\mu\text{R/h}$), ha permitido realizar importantes controles de calidad en las tecnologías de extracción de datos y de elaboración de mapas a diversas escalas y ha sido completado por el banco de datos generado por ENUSA y el grupo de investigación dirigido por la Profesora MORO BENITO de la Universidad de Salamanca.

Así, durante los años 1992 a 1994 dicho equipo realizó un trabajo fundamental para la ejecución del Proyecto MARNA, tanto en la extracción y control de calidad de datos de 700 hojas 1:50.000, como en la generación de datos geológicos y radiométricos de la Comunidad Autónoma de Castilla-León (campañas autorportadas y a pie).

La segunda fase, iniciada en enero de 1996, tiene por objeto completar el Atlas Radiométrico Nacional a escala 1:200.000, con calidad similar a la conseguida en Extremadura y Castilla-León, y perfeccionar el mapa 1:1.000.000.

El Proyecto MARNA, dentro de su carácter pluridisciplinal, asigna una prioridad a las correlaciones entre geología y radiometría, que por otra parte se resaltan de forma espectacular con un manejo adecuado de los datos radiométricos.

En esta publicación se exponen las características y resultados más relevantes de las correlaciones entre geología y radiometría en el Macizo Hespérico a escalas nacional, regional y provincial.

2. LOS ELEMENTOS RADIATIVOS NATURALES.

La radiación gamma emitida por las rocas se debe fundamentalmente a la presencia de potasio, torio y uranio. Existen también otros elementos radiactivos naturales como el rubidio 87, samario 148 y lutecio 171, pero se encuentran en tan pequeña proporción que su contribución a la radiación gamma total es despreciable. Los picos de energía significativos del espectro gamma que se emplean en la medida de radioelementos naturales son: 1,46 MeV. correspondiente al potasio 40, que se utiliza para determinar el contenido en potasio natural, los de 1,12 y 1,76 MeV. correspondientes al bismuto 214, descendiente del uranio natural, que se utilizan para estimar el contenido en uranio y el de 2,62 MeV., correspondiente al talio 208, descendiente del torio natural, que se emplea para determinar el contenido en torio natural.

En la Tabla I se muestran los contenidos medios y el rango de variación del potasio, torio y uranio en rocas ígneas y sedimentarias (ver Tabla I).

El agua del mar tiene un contenido medio en uranio de 0,002 ppm, las aguas subterráneas 0,0002 ppm y el petróleo 0,1 ppm.

El potasio químico contiene un 0.0119 % de potasio 40 (ADAMS *et al.*, 1959).

En cuanto a la contribución media terrestre de cada uno de ellos a la radiación gamma natural, un 45% proviene del potasio, un 45% de torio y el 10% restante del uranio natural.

Una concentración de 1% de potasio produce una tasa de exposición de 1.505 $\mu\text{R/h}$, mientras que 1 ppm de torio daría lugar a 0.310 $\mu\text{R/h}$ y 1 ppm de uranio a 0.625 $\mu\text{R/h}$.

El contenido medio de uranio en las rocas superficiales oscila entre 1 y 3 ppm. Mucho más abundante es el torio, que puede alcanzar concentraciones de 3 y 4 veces superiores a las del uranio (DARNLEY, 1996; BARISIC *et al.*, 1996). Tanto el torio como el uranio se encuentran en su estado tetravalente, pero mientras el ión U^{+4} en ambiente oxidante pasa a hexavalente, el torio no cambia de valencia. En

condiciones de oxidación, el uranio hexavalente forma el ión uranilo (UO^{2++}) que puede dar origen a numerosos minerales.

Por tanto, se observa que los caminos del uranio y del torio bien pronto se separan, lo cual condicionará inevitablemente el tipo y la forma de yacimientos y el contenido geoquímico de las rocas en estos elementos.

El torio, al ser altamente resistente a la meteorización, se localiza exclusivamente en sus rocas de origen o concentraciones mecánicas de sus minerales durante el transporte, mientras que el uranio, en parte, seguirá su ciclo lixiviado por las aguas hasta encontrar unas condiciones de depósito y otra parte podrá permanecer en sus rocas de origen.

Queda patente la problemática que genera la especulación sobre contenidos medios (ppm) de elementos radiactivos en las rocas, así como algunos de los razonamientos que inducen a un sistema empírico de correlaciones radiométricas tierra-aire para la homogeneización de los vuelos radiométricos con unidades físicas.

	Potasio (%)	Torio (ppm)	Uranio (ppm)
Rocas basálticas			
Valor medio	0,8	4	1
Rango	0,2 - 2,0	0,5 - 10,0	0,2 - 4,0
Rocas graníticas			
Valor medio	3	12	3
Rango	2,0 - 6,0	1,0 - 25,0	1,0 - 7,0
Rocas arcillosas			
Valor medio	2,7	12	3,7
Rango	1,6 - 4,2	8,0 - 18,0	1,5 - 5,5
Areniscas			
Valor medio	1,1	1,7	0,5
Rango	0,7 - 3,8	0,7 - 2,0	0,2 - 0,6
Rocas carbonatadas			
Valor medio	0,3	1,7	2,2
Rango	0,0 - 2,0	0,1 - 7,0	0,1 - 9,0

TABLA I. Contenidos de potasio, torio y uranio en rocas ígneas y sedimentarias.

3. ANÁLISIS DEL FACTOR UNIDAD DE SUPERFICIE - GEOLOGÍA EN SU RELACIÓN CON LA EXTRACCIÓN Y ELABORACIÓN DE DATOS.

Un estudio radiométrico puede ser planteado con objetivos pluridisciplinares. En este trabajo el objetivo es geológico. No obstante, las bases utilizadas son comunes a otros estudios de esta naturaleza (SUÁREZ & AMIGOT, 1993, 1994, 1996). Para una mejor información, vease BOURGEOIS *et al.*, 1959; GUERTMENCHUCK *et al.*, 1996; Milojevic & Strumberger, 1996; SOLEIMANI & YEGANI, 1996; STRZLECKI *et al.*, 1996; VULKAN & SHIRAV, 1996.

Ante cualquier estudio radiométrico, surgen preguntas como las que siguen: ¿cual debe ser el soporte radiométrico (superficie) elegido para representar la zona objeto del trabajo?, ¿con qué precisión se conoce su radiometría?, ¿se puede cuantificar la evaluación radiométrica de la zona estudiada?.

Si se sabe responder a estas preguntas se puede programar y acotar el sistema de extracción de medidas o de toma de muestras radiométricas, reduciéndose el problema a determinar la optimización económica del proyecto para una cuantificación aceptable de los parámetros del mismo, y a determinar, para cada unidad de soporte (superficie), el número de muestras (radiometrías), para conseguir un conocimiento radiométrico con un error predeterminado aceptable.

En geología, la superficie objeto de estudio puede ser muy variable, dependiendo de los objetivos. Se puede ir desde la macrorrepresentación radiométrica de la geología de un país, p.e. con superficie de 500.000 km², como la de España, hasta pretender localizar yacimientos uraníferos de un tamaño predeterminado p.e. 2 km² e incluso caracterizar radiométricamente un subpiso, capa guía o accidente geológico, p.e. una falla de características lineales y potencia entre decimétrica y métrica.

Se observa que la variabilidad geológica puede ser muy importante dependiendo de los objetivos de la zona estudiada. En España, p.e., una caliza pontiense horizontal, puede presentarse como afloramiento único sobre decenas e incluso centenas de km², mientras que en unos sedimentos paleozoicos metamorfizados, pueden producirse variaciones petrográficas y radiométricas con una frecuencia de varias veces en pocos ms.

4. CORRELACIONES GEOLOGÍA - RADIOMETRÍA A ESCALA PENINSULAR.

El Mapa de Radiación Gamma Natural a escala nacional, siguiendo el Convenio CSN-ENUSA, se ha realizado teniendo en cuenta las siguientes características básicas:

Densidad: 1 dato radiométrico por cada 35 km².

Unidad: microRoentgen/hora (µR/h).

Intervalo entre isocurvas de isorradiactividad: 1 μ R/h.

Intervalo radiométrico: > 4 μ R/h a < 20 μ R/h.

En la Tabla II se adjuntan los intervalos radiométricos para 615 muestras radiométricas medidas sobre el terreno.

La lámina I es un croquis geológico peninsular que queda espectacularmente delimitado en el Mapa de Radiación Gamma Natural a escala 1:1.000.000.

En la lámina II se presenta una reducción del Mapa de Radiación Gamma Natural Peninsular con intervalo radiométrico de 1 μ R/h. En este mapa se pueden apreciar las áreas del Oeste Peninsular a las que posteriormente se hará referencia a escalas regional y local.

La lámina V,1 corresponde a un corte radiométrico a 10 μ R/h. En ella quedan reflejadas en una primera aproximación todas las macroformaciones indicadas en la Lámina I. Las más importantes son:

- **Falla del Guadalquivir**
- **Macizo Hespérico**
- **Sistema Ibérico**
- **Filábrides y Nevádides**
- **Cubeta de Ciudad Rodrigo**
- **Paleozoicos pirenaicos**
- **Granitos catalanes**

LITOLOGÍA	MÁXIMA	MÍNIMA	MEDIA (m2)	VARIANZA	Nº DE DATOS
Granitos	27	10,2	17,5	11,32	48
Gneises	19,4	11,4	14,9	8,49	6
Arenas	14,4	3,8	7,5	4,42	139
Areniscas	18	8	7,3	10,29	88
Arcillas	21	3,7	9,1	10,99	153
Rañas	17,4	1,9	6,4	6,38	115
Filitas	14	12,6	13,3	0,33	3
Pizarras	19,4	7,6	14,5	10,49	30
Cuarcitas	13,3	5,6	9,5	4,99	30
Grauwackas	14	13,3	13,7	0,12	2
Arcosas	5,4	5,4	5,4	0	1

TABLA II. Radiometría de algunas unidades litológicas de España (μ R/h)

5. CORRELACIONES GEOLOGÍA - RADIOMETRÍA A ESCALA REGIONAL EN EL MACIZO HESPÉRICO.

En la Lámina V,2 se observa un doble corte radiométrico a los niveles 10 y 14 $\mu\text{R/h}$.

Sin ser exhaustivos, se identifican directamente:

- **Granitos de Vitigudino**
- **Cubeta terciaria de Ciudad Rodrigo**
- **Batolito de Cabeza de Araya**
- **Stock granítico de Trujillo**
- **Metasedimentos del Complejo Esquisto-Grauwáquico**
- **Cenozoico de Tierra de Barros**
- **Sistema Central**
- **Granitos de La Haba**
- **Batolito de Los Pedroches**

Unidades inferiores a 35 km² pueden o no quedar representadas dependiendo del posicionado de la extracción radiométrica y de la densidad de isocurvas.

6. CORRELACIONES ENTRE GEOLOGÍA Y RADIOMETRÍA A NIVEL PROVINCIAL.

La provincia de Salamanca y, dentro de ella, la Hoja 1:200.000 n^o 36, (Vitigudino), se han elegido para seguir la evolución de las correlaciones geología-radiometría en función de la resolución radiométrica.

Geología de la Provincia de Salamanca.

La provincia de Salamanca ocupa una superficie de unos 15.000 km², de los cuales aproximadamente el 40% está ocupado por afloramientos graníticos hercínicos, un 20% por metasedimentos paleozoicos, un 20% por sedimentos terciarios y un 10% por sedimentos pliocuaternarios. (Láminas III y IV).

Granitos. Las rocas graníticas de la zona norte tienen una composición química muy variada: granodioritas y cuarzomonzonitas, y presentan pequeños afloramientos de sienitas, microgranitos y los cortejos filonianos típicos de estas rocas intrusivas (Láminas III y IV). Como característica radiométrica general se presentan altos contenidos medios en potasio, torio y uranio. Con estas características geoquímicas, los fondos radiactivos de estos granitos son muy altos; con frecuencia presentan filones radiactivos con minerales de uranio y así mismo

transmiten fuertes gradientes radiactivos a las rocas paleozoicas residuales, en contacto con ellas (Láminas III y IV). También sobre estos granitos, se encuentran sedimentos cuaternarios residuales o terciarios (Lámina III).

Los granitos de la zona sur ocupan menor superficie que los de la zona norte y presentan algunas anomalías uraníferas locales junto a la frontera portuguesa. (Lámina III).

Paleozoico. Los metasedimentos paleozoicos de la zona norte están constituidos por los mismos materiales que en la sur. Sin embargo, estos materiales han sufrido, en grandes extensiones, un fuerte metamorfismo de contacto que los ha transformado en cornubianitas andalucíticas y cordieríticas, micacitas, cuarcitas y neises de dos micas. En estos materiales se encuentran abundantes anomalías radiactivas y las más importantes minas de uranio españolas (minas Fe, D, Alameda, Caridad, etc.).

El Paleozoico del bloque sur (Lámina III) es más masivo y está compuesto fundamentalmente por filitas predominantemente arcillosas y cuarzosas, aunque pueden ser sericíticas, grafitosas, etc., grauwas, algún conglomerado y cuarcitas ordovícicas. Localmente también existen algunos metamorfismos de contacto generados por el emplazamiento de los granitos de esta zona, pero con escasa extensión e influencia radiactiva.

Sedimentos terciarios. Aprovechando las fracturas tardihercénicas, la removilización alpina configuró, durante el Cretácico y el Paleógeno, la formación de cubetas que fueron rellenándose intermitentemente, siguiendo las pulsaciones de la misma.

De éstas, las posteriores al Oligoceno tuvieron el efecto de uniformizar -- aparentemente-- todas las pequeñas subcuencas paleógenas, fosilizándolas, dejando patentes únicamente las periféricas a la gran cuenca miocénica del Duero.

En la provincia de Salamanca los materiales cenozoicos se reparten, desde el punto de vista general, entre el borde SW de dicha gran cuenca y la más importante de sus apófisis, la cubeta de Ciudad Rodrigo. Ésta presenta las más importantes anomalías radiométricas, y es a ella a la que nos referiremos aquí.

Se extiende en dirección NE-SW con unos 150 km de longitud y 15-20 km de anchura (Lámina III). Topográficamente, esta cubeta va descendiendo desde Salamanca en dirección SE hasta Ciudad Rodrigo y penetra algo en Portugal.

Tanto la cubeta como la parte norte de la misma están penillanurizadas, mientras que al sur de la misma la topografía es abrupta debido al levantamiento del horst tectónico de la Sierra de Gata. En el relleno de la cubeta se identifican abanicos de sedimentación con fuertes cambios laterales de facies. Radiométricamente, los materiales acusan la baja de los contenidos de uranio debido a la lixiviación sufrida por este elemento durante las fases de erosión, transporte y sedimentación, a partir de las rocas madres, acusando también así las

bajas en torio de las filitas arcillosas y arcillas, salvo en la zona suroeste (Lámina IV,1) donde la extensión del lehm granítico y la proximidad de los yacimientos de uranio ha elevado sus fondos radiométricos.

En el norte de la Hoja nº 36 (Vitigudino) (Lámina III,10), se observa un gran accidente morfológico parcialmente oculto por la presa de Almendra sobre el río Tormes. Este pantano presenta su máxima dimensión justo aguas arriba de la presa (más de 50 km²) y se continúa con menor anchura durante varias decenas de km.

Sedimentos cuaternarios. Las consideraciones previas a la información sobre los sedimentos terciarios de la provincia de Salamanca, sirven también para los cuaternarios, por lo que sólo nos referiremos a los que cubren la parte occidental de la provincia, y, especialmente, a los que se sitúan sobre la cubeta de Ciudad Rodrigo y zócalo ampliamente limítrofe. En el resto las anomalías radiométricas pueden considerarse de escasa relevancia.

Así, al norte del pantano de Almendra (Láminas III,11 y III,12) se pueden observar dos manchas cuaternarias detrítico arcillosas denominadas rañas, con unas superficies de 40 y 60 km². Estos sedimentos poco evolucionados consisten principalmente en cantos gruesos de cuarcitas, arenas cuarzosas mal clasificadas, silts y arcillas con bajo componente radiactivo.

7. INTERVALOS RADIOMÉTRICOS DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS DE LA PROVINCIA DE SALAMANCA.

Desde el comienzo del Proyecto MARNA, ENUSA y el Grupo de Investigación de la Universidad de Salamanca viene controlando y tabulando las radiometrías de la mayor parte de las formaciones geológicas peninsulares en µR/h. Más de 1300 puntos han sido inventariados y su clasificación y estudio está en fase avanzada de elaboración. En lo referente a las unidades litológicas de la provincia de Salamanca, su comportamiento con respecto a sus homónimas del resto de España es el que se indica en la Tabla III.

Como se puede apreciar, los porcentajes de las diferencias entre radiometrías medias de las Tablas II y III se mantienen dentro de unos límites muy aceptables.

En algunos casos se observa la influencia regional de la provincia metalogénica uranífera (valores máximos de las arcosas del borde SW de la cubeta de Ciudad Rodrigo, gneises y pizarras), mientras que en la cuarcita ordovícica se mantienen bastante bien las constantes, a pesar de la frecuente variación de su contenido en torio.

8. ANÁLISIS DE LA RESOLUCIÓN DE PLANOS RADIOMÉTRICOS.

Con las características expuestas anteriormente se ha realizado el mapa radiométrico de la provincia de Salamanca, con una resolución de 1 dato por 1 km², en la Lámina IV,1. El mismo mapa con resolución 1/100 km² puede apreciarse en la Lámina IV,2.

Si se comparan ambos mapas con el esquema geológico de la Lámina III, se comprueba que en el primer caso, las macroformaciones geológicas (entidades de más de 100 km²) se perfilan muy bien, mientras que en el segundo caso sólo se aprecian aproximadamente los límites de dichas macroformaciones (Cubeta de Ciudad Rodrigo, zona norte de Lumbrales y zona sur de Sierra de Gata).

En las Láminas IV,3 y IV,4 se presenta la Hoja 1:200.000 nº 36 (Vitigudino) con resoluciones de 1/9 y 1/25 km².

De su análisis comparativo con el croquis geológico de la Lámina III, se deduce que:

* Con una resolución 1/1, se detectan perfectamente la posición de las minas de uranio (Minas Fe y Retortillo), pantano de Almendra y su reculaje multikilométrico, formaciones geológicas menores (cuaternario del norte del pantano) y mayores, bordes nítidos entre formaciones geológicas bien caracterizadas radiométricamente e incluso la influencia del gradiente metamórfico sobre el paleozoico residual del norte de la fosa de Ciudad Rodrigo.

LITOLÓGÍA	MÁXIMA	MÍNIMA	MEDIA (m1)	(m1-m2)/m1
Granitos	>20	15	>17,5	>0,01
Gneises	>20	13	>16,5	>10,7
Arenas	11	6	8,5	13,3
Areniscas	14	6	10	37,00
Arcillas	11	7	9	-1,1
Rañas	9	6	7,5	17,2
Filitas	15	11	13	-2,3
Pizarras	>15	11	>13	>10,3
Cuarcitas	>14	7	>10,5	>10,5
Grauwackas	15	11	13	-5,4
Arcosas	14	6	10	83,6

TABLA III. Radiometría de algunas unidades litológicas de la provincia de Salamanca ($\mu R/h$)

* Con resolución 1/9 desaparece la cola del pantano y no ha sido captada la mina de Retortillo.

* Con resolución 1/25 se difuminan más los contactos radiométricos. Anomalías inferiores a 25-35 km² pueden no ser captadas y en el caso de que lo sean ofrecen una agudización de formas kilométricas.

9. CONCLUSIONES.

Aunque el Mapa de Radiación Gamma Natural Nacional ha sido diseñado con fines preferentemente dosimétricos (STREZELECKI *et al.*, 1996; GUERMENTCHUCK *et al.*, 1996), medioambientales y preoperacionales (TORRES *et al.*, 1996), también ha puesto de manifiesto su utilidad a diversas escalas en lo referente a las correlaciones geología-radiometría (PÉREZ DEL VILLAR & MORO, 1988). Estas correlaciones pueden considerarse como de gran calidad a las escalas nacional, regional y provincial, con resoluciones radiométricas respectivas de 1/35, 1/19 y 1/1 datos/km².

Disminuyendo la resolución radiométrica a escalas adecuadas (incluso métricas o inferiores), puede conseguirse en algunos casos importante información sobre aureolas radiactivas, gradientes metamórficos, hidrotermalismo potásico, fallas, capas-guía, asociaciones fósforo-uranio, torio-tierras raras (GROSZ *et al.*, 1996), uranio-elementos polivalentes y potasio-oro.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- ADAMS, J.A.S.; OSMOND, J.K. & ROGERS, J.J.W. (1959): *The geochemistry of Thorium and Uranium. In Physics and Chemistry of the Earth.* AHRENS, L.H. *et al.*, ed. vol. 3: 298-348. Pergamon Press, New York.
- BARISIC, D.; LULIC, S.; PROHIC, E. & EULINOVIC, M. (1997): *Spatial distribution of ⁴⁰K, ²²⁸Ra, ²²⁶Ra, ²³⁸U and ¹³⁷Cs in surface layered observed at small areas.* Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps- IAEA-TECDOC, Viena, p.135-147.
- BOURGEOIS, C.; BRESSON, J.; CHIFFOT, T.; KRUAJITCH, J.C.; GUILLOT, L. & BERGEY, C. (1996): *Use and results of aerial gamma mappings system during the international exercise. RESUME 95 in Finland.* Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps. IAEA-TECDOC, Viena, p.173-197.
- DARNLEY, A.G. (1996): *Uranium exploration data and global geochemical baselines: the need for coordinated action.* Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps. Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps. IAEA-TECDOC, Viena, p.9-17.
- GROSZ, A.E.; GREENWOOD, W.J.; SCHRUBEN, P.G & GROSSMAN, J.N (1996): *Definition of prospective terrains for industrial poly mineralic placers in the Mississipi embayment*

region by use of uranium exploration data. Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps. IAEA-TECDOC, Viena, p.409-415.

GUERTMENCHUCK, M.G.; ZHUKOVA, O.M.; SHAGALOVA, E.D. & MATVEENKO, I.I. (1996): *Radioecological mapping of the territory of Belarus on the base information of radiation monitoring. Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps. IAEA-TECDOC, Viena, p.153-159.*

MILOJEVIC, M. & STRUMBERGER V. (1996): *Environmental monitoring system based on airborne gamma-ray spectrometry developed in geoinstitut Beograd. Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps. IAEA-TECDOC, Viena, p.279-292.*

PÉREZ DEL VILLAR., L. & MORO B., M^a. C. (1988): *Estudio de la distribución del K, U y Th en el batolito de Cabeza de Araya mediante prospección aero-radiométrica. Implicaciones petrogenéticas y metalogenéticas. Libro Jubilar de L.C. GARCÍA DE FIGUEROLA, I.D. Omega, p.457-469. Madrid.*

SOLEIMANI, G. & YEGANI, F.S (1996): *Airborne gamma-ray spectrometry in certain areas of Iran and its results, correlation to other usages. Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps. IAEA-TECDOC, Viena, p.67-72.*

SUÁREZ MAHOU, E. & FERNÁNDEZ AMIGOT, J.A. (1993): *Use of uranium airborne data in the preparation of a radiometric map of Spain. TMC, IAEA, Viena. p. 109-125 .*

SUÁREZ MAHOU, E. & FERNÁNDEZ AMIGOT, J.A. (1994): *El mapa de radiación natural y dosimétrico de España. Radioprotección, nº 7, Vol. 8: 5-18.*

SUÁREZ MAHOU, E. & FERNÁNDEZ AMIGOT, J.A. (1996): *The MARNA Projeet. Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps. IAEA-TECDOC, Viena, p.19-32.*

STRZELECKI, R.; WOLKOWICZ, S. & LEWANDOWSKI, P. (1996): *Mapping of post-Chernobyl environmental pollution in Poland. Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps. IAEA-TECDOC, Viena, p.163-168.*

VULKAN, I. & SHIRAV, M. (1996): *Radiometric maps of Israel-partial contribution to the understanding of potential radon emanations. Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelements maps. IAEA-TECDOC, Viena, p.119-125.*

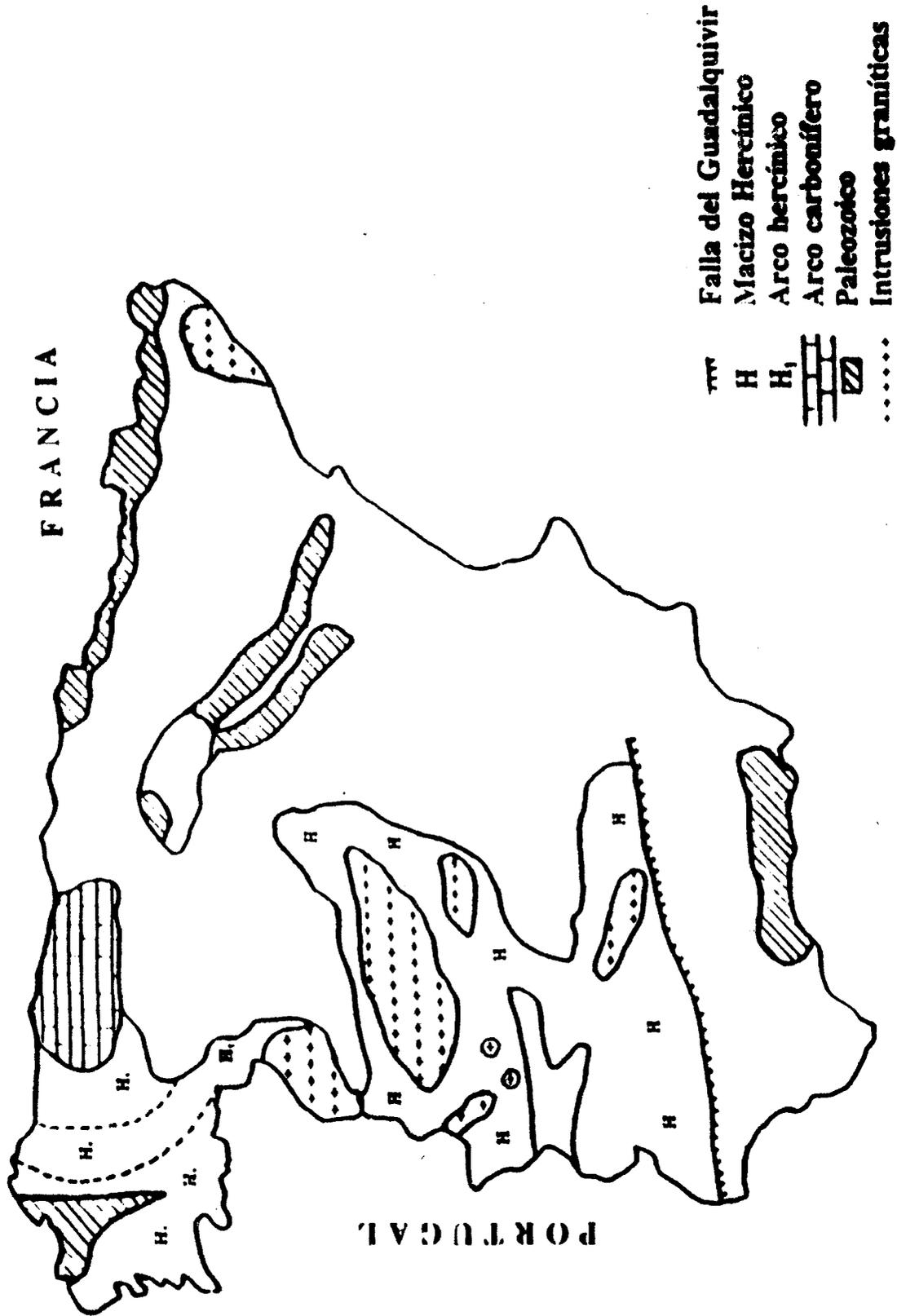


LÁMINA I. Esquema geológico peninsular.

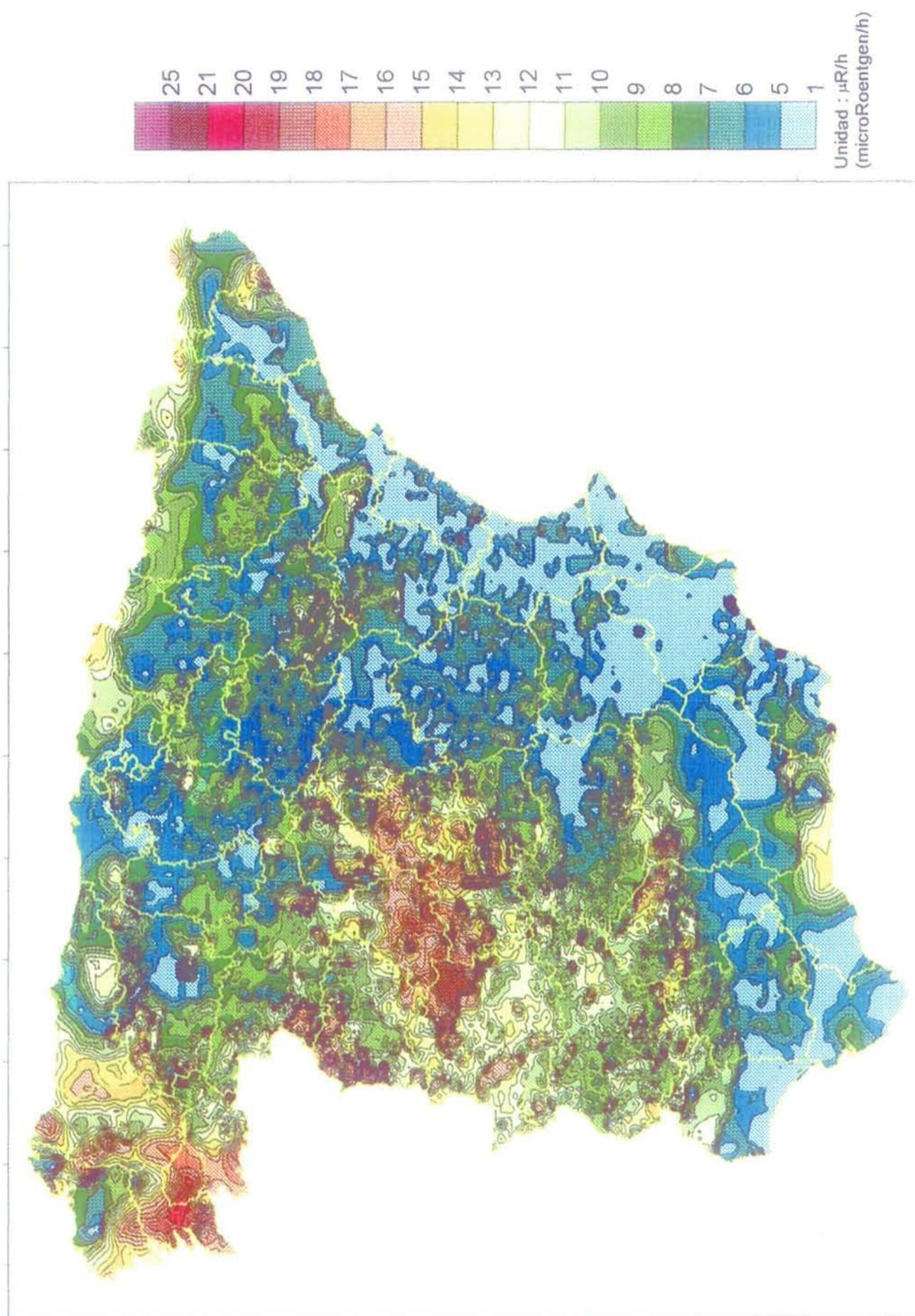


LÁMINA II: Proyecto MARNÁ. Mapa de radiación Natural provisional de España.

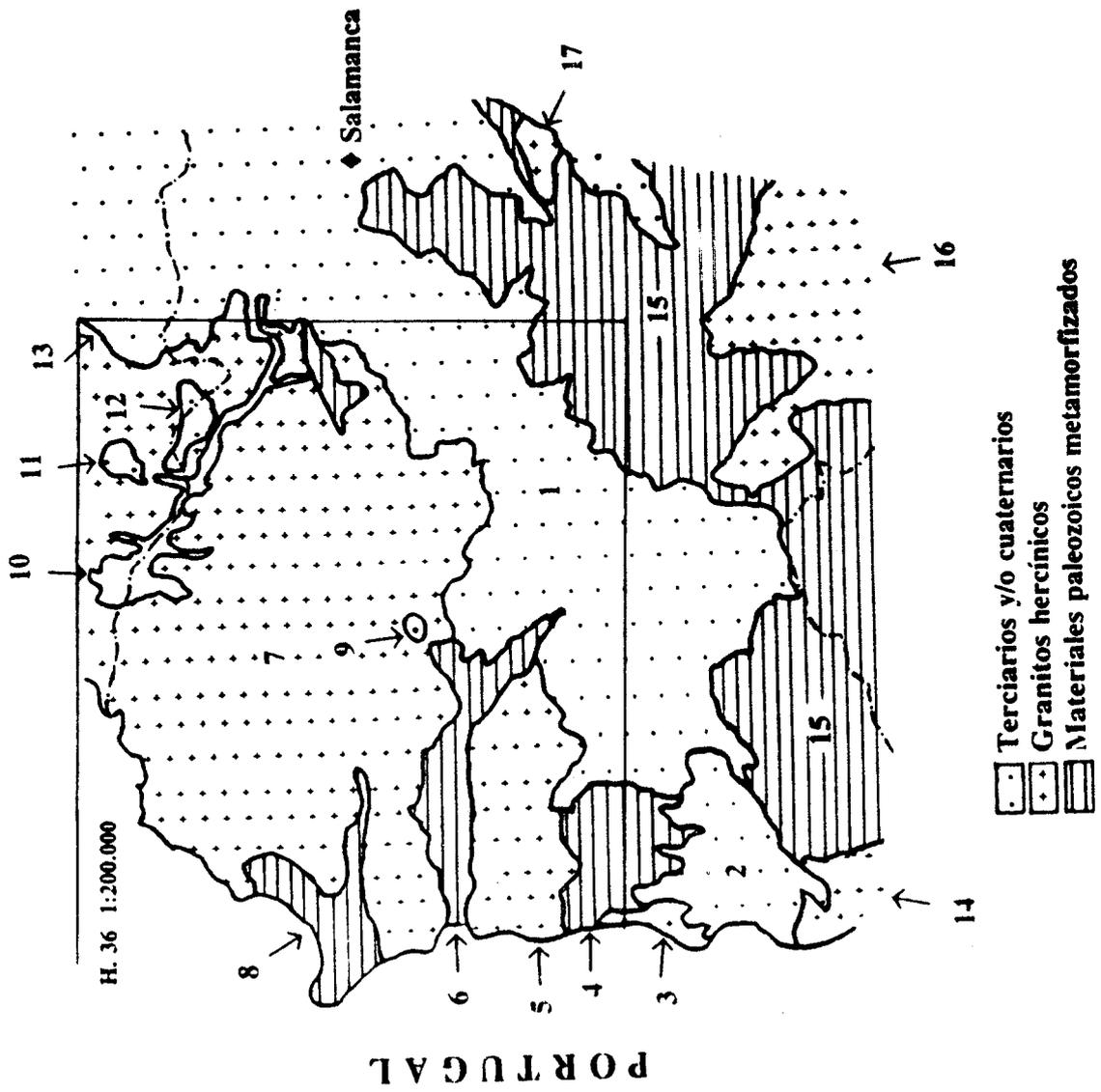


LÁMINA III. Esquema geológico de la provincia de Salamanca.

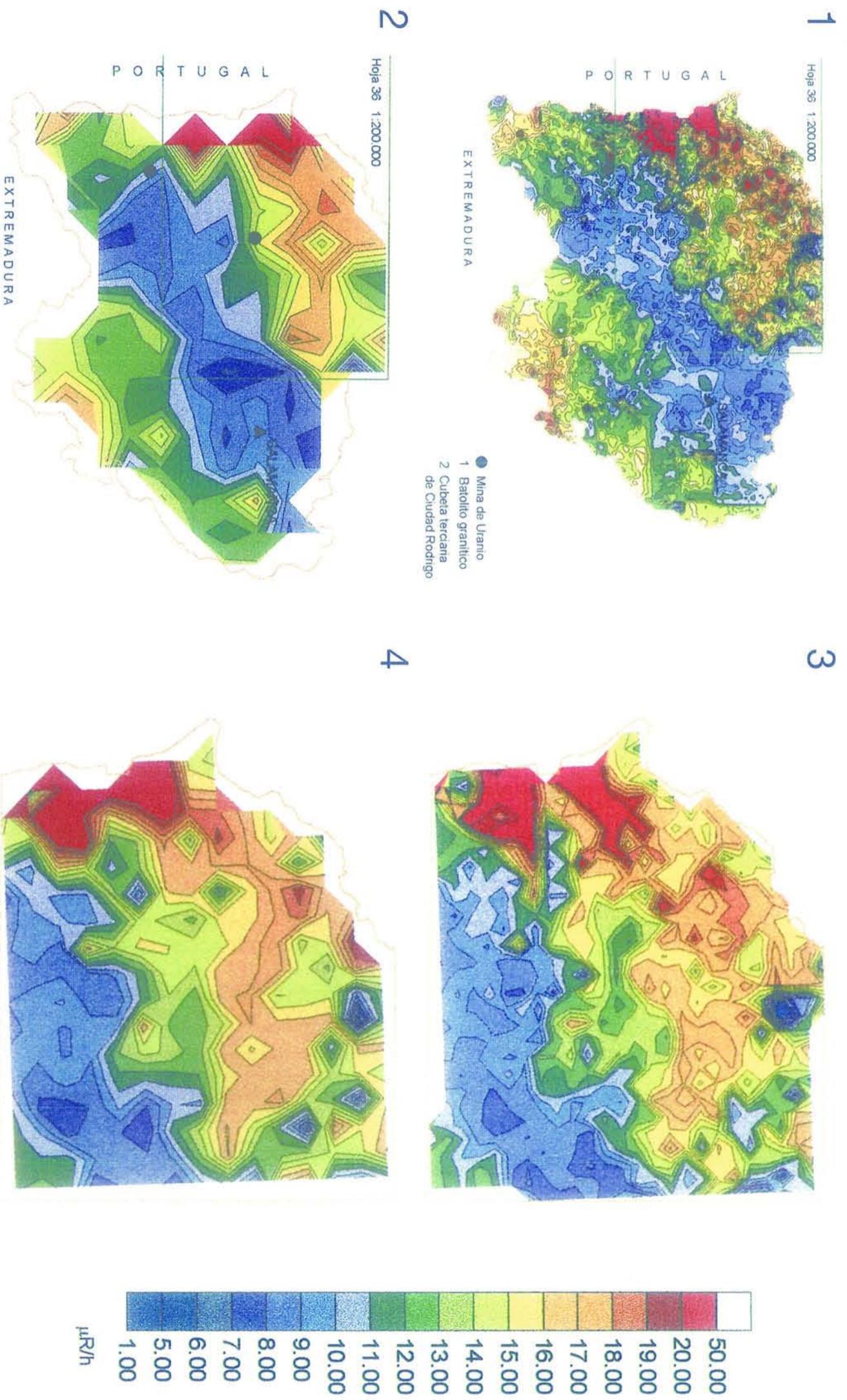
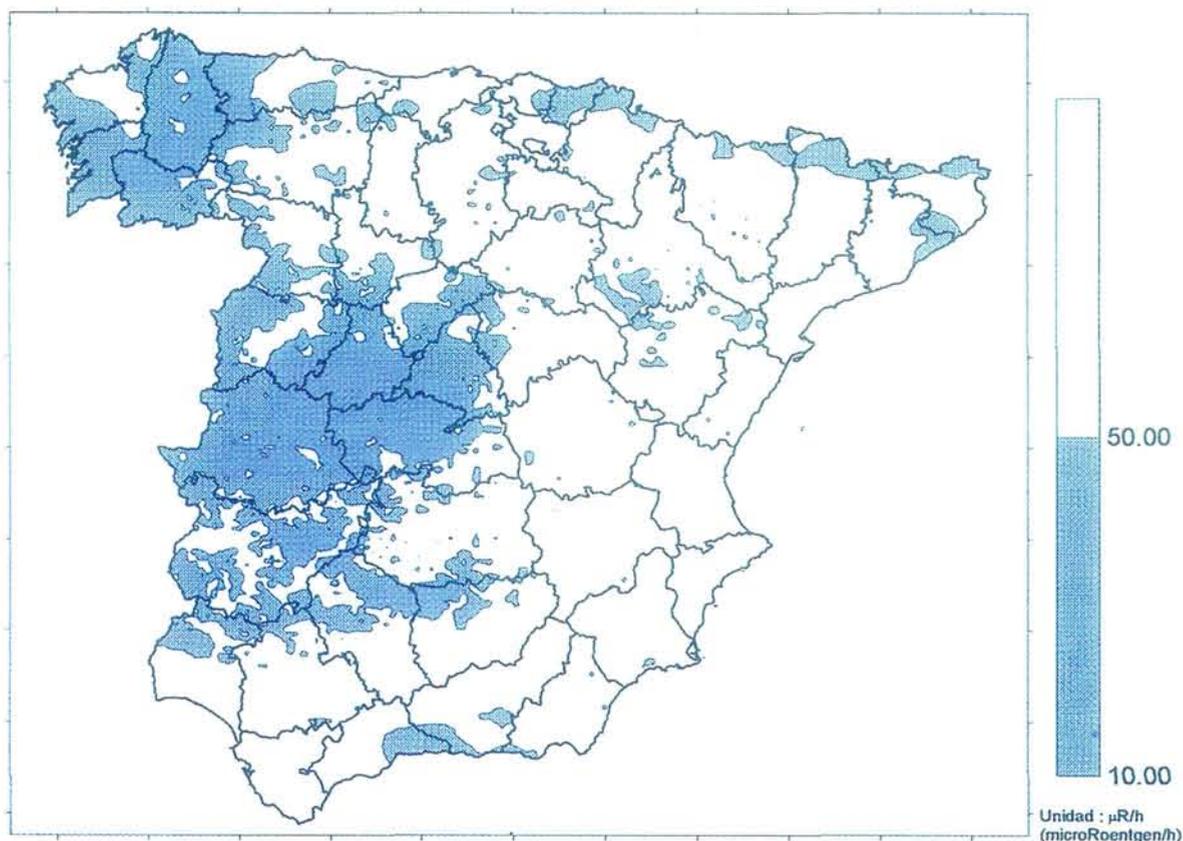


LÁMINA IV. (1). Mapa Radiométrico de la provincia de Salamanca. Resolución: 1 dato radiométrico / km².

(2): id. id. Resolución: 1 dato radiométrico / 100 km².

(3): Mapa radiométrico de la Hoja nº 56 (Vitigudino). Resolución: 1 dato radiométrico / 9 km². (4): id. id. Resolución: 1 dato radiométrico / 25 km².

PROYECTO MARNA



PROYECTO MARNA

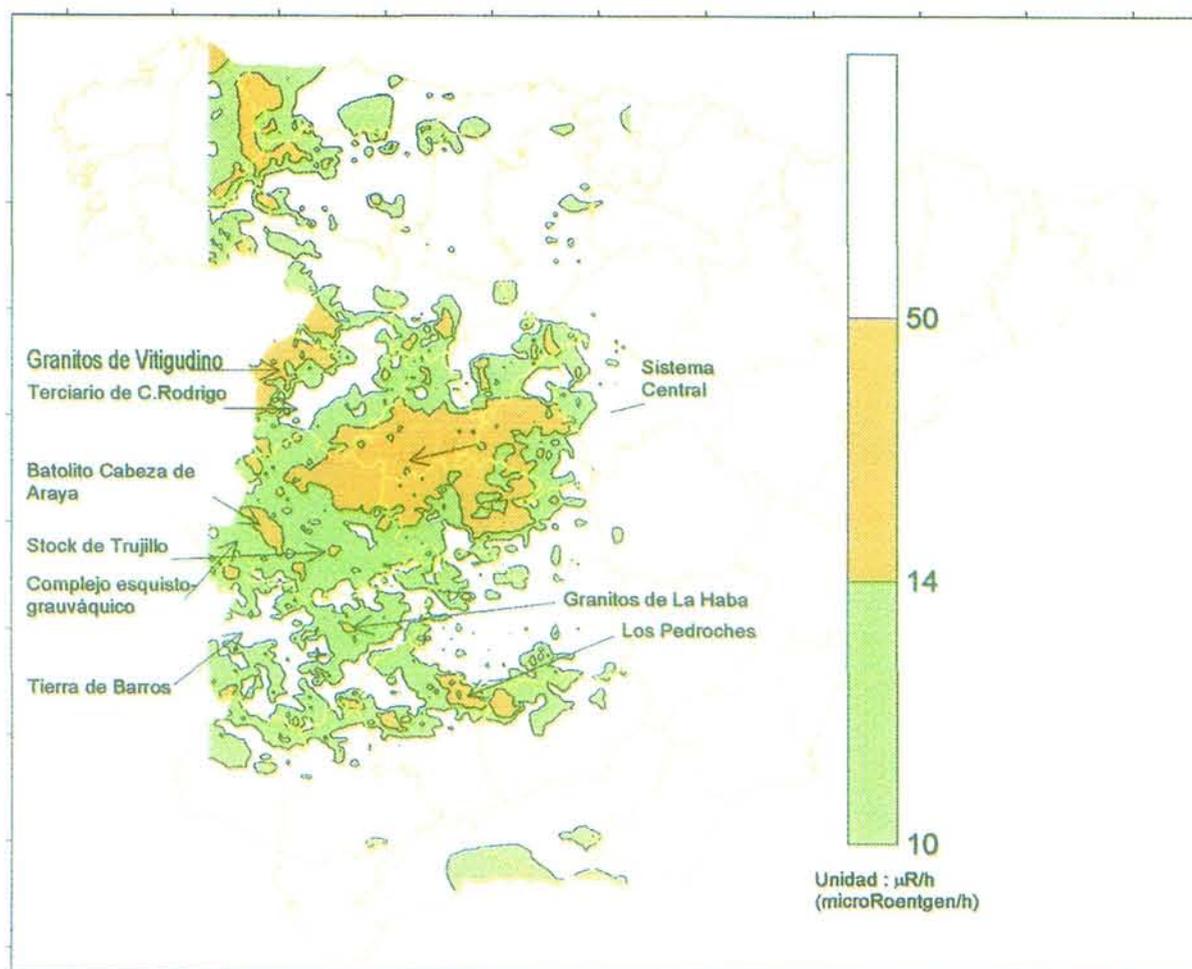


LÁMINA V. Proyecto MARNA.

- (1): Corte radiométrico peninsular a $10 \mu\text{R/h}$.
(2): Cortes radiométricos del Macizo Hespérico a 10 y $14 \mu\text{R/h}$.