

CONSEJO GENERAL DE CASTILLA Y LEON

SEPARATA

DEL LIBRO

PERFIL ECONOMICO DE
CASTILLA Y LEON

SECTOR GEOLOGICO-MINERO

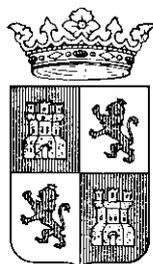
ANTONIO ARRIBAS MORENO

EMILIANO JIMENEZ FUENTES

ROSA REGUILON BRAGADO

CANDELAS MORO BENITO

ANTONIO ARRIBAS ROSADO



SALAMANCA

1982

I

SECTOR
GEOLOGICO - MINERO

ANTONIO ARRIBAS MORENO

**Y sus colaboradores en el
Instituto de Geología Aplicada
de la Universidad de Salamanca.**

1. SINTESIS GEOLOGICA DE LA REGION CASTELLANO-LEONESA

El análisis de la situación actual y futura de la minería de la región castellano-leonesa tiene que ir precedido necesariamente de un estudio geológico que permita establecer los criterios a seguir para aumentar la productividad de los yacimientos existentes o para encontrar otros nuevos, así como para conseguir mejores rendimientos en otros sectores, tales como la agricultura, ganadería, hidrogeología y las obras públicas en general - especialmente en lo que se refiere al aprovechamiento integral de los recursos hidráulicos—, en los que un buen conocimiento del terreno y de los factores geológicos resulta imprescindible en la programación de cualquier proyecto de investigación y desarrollo.

Por este motivo, se resumen aquí, en primer lugar, las más importantes características geológicas de la región castellano-leonesa, ya que ello permitirá analizar y comprender mejor la evolución de los resultados conseguidos en el sector minero durante la última década y valorar las posibilidades que realmente existen en la región para obtener un mejor aprovechamiento de sus recursos minerales y aumentar sus reservas a corto y largo plazo.

1.1. CARACTERES FISOGRÁFICOS

A) *Generalidades*

Las ocho provincias que aquí se estudian corresponden, casi en su totalidad, a la Submeseta Norte. De las ocho, sólo la de Valladolid se encuentra exclusivamente en ella. Salamanca, Avila y Segovia la sobrepasan por el Sur; Burgos y Palencia, por el Norte; Zamora, por el Oeste; y Soria pertenece tanto a la submeseta Norte como a la Depresión del Ebro.

Geológicamente, las ocho provincias quedan comprendidas en la Cuenca terciaria del Duero, constituida por un sistema de fosas tectónicas que está bordeado por los sistemas montañosos de la Cordillera Carpetovetónica, al S y SE; la Cordillera Ibérica, al E; la Cordillera Cantábrica, al N y NE, junto con el corredor de la Bureba que sirve de paso a la Cuenca del Ebro; y la Cordillera Asturleonés, al N y O. Como todas las provincias, excepto Valladolid, están definidas por su posición centro-marginal respecto a los variados bordes de la cuenca, a continuación se describen por separado los caracteres fisiográficos de cada una de ellas.

B) *Valladolid*

La provincia de Valladolid ocupa el centro de la Cuenca del Duero. Su relieve es, por lo tanto, muy uniforme, y corresponde al de una paramera accidentada por la excavación de los valles fluviales. Las llanuras inferiores, es decir, las *vegas y campiñas*, están enlazadas con los *páramos* por las *cuestas*.

La red hidrográfica de la provincia es exclusivamente tributaria del Duero, el cual la atraviesa de E. a O. La vegetación natural, muy alterada, queda relegada a manchones dispersos de pinos, encinas y robles, a los que hay que añadir los árboles de las riberas que enmarcan los cursos de agua.

C) *Zamora*

La provincia de Zamora está constituida por dos dominios regionales bien diferenciados. La región NO, agreste y montañosa, está formada por las estribaciones surorientales del Macizo Galaico y los Montes de León. El resto puede a su vez dividirse en dos unidades: la occidental o suroccidental, en

la que el paisaje fundamental se debe al alloramiento del zócalo granítico, y la mitad oriental, la cual pertenece ya a la Cuenca del Duero. Esta parte empalma sin solución de continuidad con las provincias de León, Valladolid y Salamanca.

D) *Salamanca*

Desde el punto de vista fisiográfico, la provincia de Salamanca se puede subdividir en varias zonas. La central y nororiental forman parte de la cuenca terciaria que viene de Valladolid, pero sin tener las mismas características, ya que los materiales de Salamanca son por lo general más compactos y variados. Además, una alargada apófisis de sedimentos acumulados en la fosa tectónica situada entre Salamanca y Ciudad Rodrigo amplía dicha cuenca por el SO, haciéndola penetrar en Portugal. En la región noroccidental, con centro en Ledesma, aflora el zócalo cristalino de la Meseta, profundamente afectado aquí por la acción erosiva de los ríos Duero y Tormes. El borde meridional está ocupado por una serie de elevaciones montañosas pertenecientes al Sistema Central —Sierras de Béjar, Francia y Gata—, y que son debidas a bloques levantados del zócalo cristalino, cuarteado por grandes fracturas, o a las accidentadas corridas de cuarcitas del Paleozoico. Desde aquí, hacia el N., el relieve pasa a ser el de la penillanura a través de algunas pequeñas alineaciones montañosas formadas por diferenciación litológica.

La mayor parte de la provincia vierte sus aguas al Duero y sus afluentes. Sólo la Cuenca del río Alagón, en el centro-sur, es tributaria del Tajo, siendo muy marcadas las diferencias de altitud entre ambas cuencas.

E) *Avila*

La provincia de Avila ocupa el borde Sur de la Submeseta Norte, estando su parte meridional ubicada sobre el Sistema Central, mientras que la septentrional forma parte del paisaje terciario de la Cuenca del Duero. Esta característica divide a la provincia en dos grandes regiones naturales, una montañosa y otra llana.

Por lo que respecta a la zona montañosa del Sistema Central, la Sierra de Gredos y sus aledaños transversos o paralelos constituyen en conjunto las vértebras de una gran dorsal que fue dividida por profundas fallas, a favor de las cuales se efectuó el desplazamiento de los bloques del sustrato paleozoico.

La región llana del Terciario, centrada sobre las importantes villas históricas de Madrigal y Arévalo, se extiende hacia el O., N. y E. por las provincias de Salamanca, Valladolid y Segovia.

La red hidrográfica provincial, que ocupa ambas zonas con la misma importancia, vierte sus aguas hacia la Cuenca del Duero, a través de sus afluentes Tormes, Trabancos, Zapardiel y Adaja, y del Tajo, por el Tiétar y el Alberche.

F) *Segovia*

La provincia de Segovia está situada al SE. de la Meseta, al pie de las Sierras de Somosierra y Guadarrama, las cuales dan lugar a un relieve montañoso muy agreste y de características similares al descrito por la provincia de Avila, si bien aquí el borde cristalino está cubierto, además del Terciario, por sedimentos del Mesozoico.

Por el NO. y en la zona limítrofe con Burgos, la mayor parte de la provincia es llana y típicamente mesetaria, con páramos y grandes llanuras de arenales en los que la vegetación de tipo estepario compite con los cultivos de cereales.

La red fluvial pertenece en su totalidad a la Cuenca del Duero y está formada principalmente por los sistemas hidrográficos de los ríos Eresma, Cega y Duratón.

G) *Burgos*

La provincia de Burgos está situada al NE. de la Submeseta Norte, en la zona de paso de la Meseta al valle del Ebro. La submeseta propiamente dicha sólo ocupa la mitad suroccidental de la provincia, la cual está constituida por los sedimentos terciarios que producen el clásico relieve en páramos, cuestras, y vegas o campiñas cuando son atravesados por los afluentes del Duero.

El resto de la provincia forma parte del valle del Ebro y de los dos conjuntos montañosos que lo circundan: el Sistema Ibérico y la cordillera Cantábrica. El Sistema Ibérico está representado por la Sierra de la Demanda, de relieve abrupto y terrenos paleozoicos y mesozoicos, mientras que la cordillera Cantábrica lo está sólo por sus comienzos orientales, concretamente los Montes de Oca.

H) *Soria*

Como la de Burgos, la provincia de Soria, que es la más oriental, se sitúa en los límites de la Meseta y el Sistema Ibérico, tomando características que son propias a ambas regiones.

La región mesetaria es una altiplanicie atravesada por el río Duero y con una altura media de 900 m. sobre el nivel del mar. El Sistema Ibérico abarca la parte NE. de la provincia, con alturas que sobrepasan los 2.000 m. Intercalado entre altas sierras, se encuentra el valle del Jalón, tributario del Ebro, que constituye una importante vía de comunicación entre Castilla y Aragón.

I) *Palencia*

La provincia de Palencia ocupa el borde septentrional de la Meseta en su confluencia con la cordillera Ibérica.

Se diferencian en ella tres unidades: la altiplanicie, la montaña y las riberas del Pisuegra y sus afluentes. Los condicionantes de la estructura morfológica son la naturaleza sedimentaria de la cubeta del Duero y la cristalina de los materiales paleozoicos del reborde montañoso septentrional.

Desde las faldas cantábricas hasta la línea de Carrión de los Condes, el paisaje es de páramos, los cuales están atravesados por los cauces fluviales donde se asientan los núcleos de población. Al S. de dicha línea, las parameras ceden su lugar a las campiñas o riberas, de menor altura, de la Tierra de Campos, donde se abren ampliamente algunos valles que llegan a dar incluso extensas zonas endorreicas.

1.2. CARACTERES GEOLÓGICOS

A) *Generalidades*

Tal y como se ha indicado en el apartado anterior, el conjunto de las ocho provincias de la región castellano-leonesa abarca la mayor parte de la Cuenca terciaria del Duero, la cual pertenece, en superficie, fundamentalmente al Mioceno. En sus bordes afloran sedimentos más antiguos, del Paleógeno, y en la periferia, las cadenas montañosas, formadas por materiales mesozoicos, paleozoicos, o incluso más antiguos, y por las rocas ígneas y metamórficas que constituyen el zócalo de la Meseta.

A continuación, se hace una síntesis de todas estas formaciones y se resumen sus caracteres geológicos, petrográficos y tectónicos de acuerdo con un orden estratigráfico (Fig. I.1.M.1).

B) *Rocas ígneas*

Las rocas plutónicas se agrupan en dos grandes conjuntos: uno, en la zona occidental de las provincias de Zamora y Salamanca, y otro, situado en el Sistema Central, que abarca parte de las provincias de Segovia, Avila y Salamanca.

Las rocas de la primera zona son granitoides que comprenden dos series fundamentales: alcalina y calcoalcalina. Cronológicamente, la serie alcalina es intermedia entre dos series calcoalcalinas.

La serie alcalina está formada por leucogranitos sintectónicos de dos micas, los cuales dan lugar a varios macizos. El mayor es el Sayago-Ledesma-Vitigudino, al que siguen en importancia los granitos de Calabor (Zamora), y los de Morille y Fuentes de Oñoro, en Salamanca.

El tamaño de grano de estas rocas, que pueden estar más o menos deformadas y orientadas, varía de medio a grueso. Los porcentajes de moscovita y biotita también son variables, aunque, por lo general, se trata de granitos de dos micas. En el de Sayago (Zamora) se reconocen tres facies: porfídica, de grano grueso y con megacrístales de microclina; de grano medio a fino, con paso gradual a la anterior; y de grano fino.

Todos los granitos de la serie alcalina son posteriores a la fase I de deformación y al máximo del metamorfismo regional, y algo anteriores, contemporáneos o posteriores, a la fase III hercínica. En general, están relacionados con el desarrollo de migmatitas.

Las granodioritas son las rocas dominantes en la serie calcoalcalina. Unas, las granodioritas precoces, son anteriores a los leucogranitos de la serie alcalina. Suelen presentarse en macizos alargados, con fuerte deformación, y con megacrístales. Las granodioritas tardías forman, por el contrario, macizos circunscritos, de bordes netos, y que aparecen rodeados por una aureola de metamorfismo de contacto. Además, localmente, es posible encontrar pequeños afloramientos de sienitas, cuarzodioritas, tonalitas y dioritas.

Por lo que se refiere a los granitoides del Macizo Central, las formaciones plutónicas corresponden a granitos adamellíticos de dos micas, normalmente biotíticos, de grano medio a grueso, algunas veces porfídicos y con feldespatos de hasta 7 cm., que se muestran a veces orientados y con tránsito gradual a los gneises biotíticos.

Mineralógicamente, su composición oscila entre la de las granodioritas y cuarzomonzonitas. Puede haber grandes cristales de plagioclasas sódicas. Los feldespatos son generalmente xenomorfos y con textura peritítica.

C) *Rocas metamórficas*

Bajo esta denominación se agrupan los esquistos cristalinos —cámbricos y precámbricos— de diversa naturaleza situados dentro o en la periferia de los macizos graníticos. En su mayor parte se han originado a partir de rocas sedimentarias, algunas de las cuales se han podido identificar como cámbricas.

Las rocas metamórficas más frecuentes en el zócalo hercínico son las micacitas y los gneises moscovíticos y biotíticos, los cuales están atravesados por abundantes diques de cuarzo, aplitas y pegmatitas, así como las rocas de la formación «Ollo de Sapo» de la región de la Sanabria, en Zamora, y las que constituyen el complejo esquistograuwaquico en esta última provincia y en la de Salamanca.

El «Ollo de Sapo» presenta tres facies diferentes. La inferior, que corresponde a unos porfiroides con megacrístales, tiene una textura esquistosa y gneísica. Los fenocristales son de feldespato, y junto a ellos aparecen unos cristales de cuarzo azulado y con golfos de corrosión que indican un posible origen volcánico. Encima aparecen unas facies de grano fino, separadas generalmente por un contacto neto, que tienen una composición similar a la anterior. Se trata de metagrauwacas feldespáticas de grano fino con intercalaciones de esquistos, cuarcitas, arcosas y volcanitas ácidas. Hacia el E., aparece una facies mixta, formada también por una alternancia de metagrauwacas feldespáticas de grano fino, y una facies profiroide con megacrístales.

El complejo esquistograuwaquico es de edad anteordovícica y, según el criterio más generalizado, de edad precámbrico-cámbrica en su conjunto. Se diferencian en él un Precámbrico Superior —constituido por cuarcitas, esquistos, gneises y anfibolitas, en las que a veces van intercalados microconglomerados cuarzo-feldespáticos que equivalen, según algunos autores, al «Ollo de Sapo»— y una serie monótona de filitas cuarcíferas, grauwas y micacitas sobre la que se dispone en discordancia el Ordovícico Inferior. Dentro de este complejo se observa frecuentemente la presencia de rocas calcosilicatadas y skarnoides entre los esquistos.

D) *Paleozoico*

El Paleozoico rodea casi en su totalidad a los materiales terciarios que constituyen el núcleo de la Submeseta Norte. Pueden distinguirse en él dos ámbitos de sedimentación separados entre sí por un eje que atraviesa la región por su parte central en dirección E.-O.

En la mitad meridional, el Paleozoico está representado por materiales cuya edad se extiende desde el Cámbrico o Precámbrico hasta el Silúrico, siendo éste el menos frecuente. En la mitad N., en la Sierra de la Demanda y en la Cordillera Cantábrica, junto al Paleozoico Inferior y discordante sobre él, aflora el Carbonífero. La presencia del Devónico es muy dudosa en toda la región.

Las características geológicas de todas estas formaciones se resumen en los apartados siguientes.

a) *Cámbrico*

En el Sistema Central, los terrenos referidos al Cámbrico constituyen el Complejo esquisto-grauwáquico, el cual ha sido desglosado recientemente en Serie de Morille y Serie de Aldeatejada. La primera está formada por cuarcitas, anfibolitas, gneises, esquistos y rocas carbonatadas en su tramo inferior; conglomerados o porfíroides, en su tramo medio; y pelitas y cuarcitas, en el superior. La segunda está formada esencialmente por esquistos cloríticos.

En las provincias de Avila y Segovia, el Cámbrico está más metamorfozado e incluye, además de pizarras arcillosas, micacitas y calizas muy silicificadas.

Por lo que respecta a la Sierra de la Demanda, en Burgos, el Cámbrico está representado por areniscas conglomeráticas, esquistos calcáreos, dolomías y areniscas masivas, y por una alternancia de esquistos y areniscas con potencias superiores a los 2.200 m. Finalmente, al Este de la provincia de Soria, aparecen sucesivamente cuarcitas, pizarrías, dolomías y grauwas, en el tramo inferior; a continuación, margas, calizas y dolomías y, por último, cuarcitas y pizarras coronando la serie.

b) *Ordovícico*

En el Ordovícico de la región castellano-leonesa se pueden distinguir tres tramos cuyas características son las siguientes.

El tramo inferior está representado, en Sanabria y la Sierra de la Culebra, dentro de la provincia de Zamora, por esquistos, filitas, y cuarcitas blancas, con intercalaciones de microconglomerados, estando apoyada la serie sobre el «Ollo de Sapo». En las Sierras de Tamames y de la Peña de Francia, en Salamanca, el Ordovícico inferior está formado por un conjunto de pizarras silíceas que muestran una mayor abundancia de niveles cuarcíticos hacia el techo.

El Arenig, que constituye el tramo intermedio, es el piso más característico del Ordovícico, y está representado por las corridas de cuarcitas armorianas que llegan a tener más de 300 m. de espesor. A esto hay que añadir otros bancos de análoga potencia en los que capas más delgadas de cuarcita se intercalan con esquistos silíceos que dan lugar a una facies típica de flysch. Por su resistencia a la erosión, forman estas cuarcitas, en las que no son raras las pistas de cruzianas, grandes resaltes acastillados que son muy típicos en el paisaje del Oeste de la Meseta.

El Ordovícico más alto está representado por esquistos silíceos del Llanvirn y por las pizarras oscuras del Llandeilo, muy características de las provincias de Zamora, Salamanca, Avila y Segovia.

En la Sierra de la Demanda, el Ordovícico es poco abundante, y está asociado a formaciones detríticas que contienen niveles conglomeráticos y cuarcíticos en la base, y areniscas, con débiles intercalaciones pizarrosas, en el resto de la formación.

c) *Silúrico y Devónico*

No son frecuentes las formaciones de esta edad en el Paleozoico de la región castellano-leonesa. Los escasos afloramientos se sitúan discordantes sobre el Ordovícico de la región de Sanabria y Sierra de la Culebra (Zamora), y posiblemente también en la zona de Tamames (Salamanca). Consisten estos materiales en una compleja serie formadas por pizarras, liditas, grauwas, cuarcitas feldespáticas, vulcanitas y calizas. En general, se trata de rocas silúricas, si bien en algunos puntos presentan faunas devónicas, por lo que es muy difícil a veces la separación por edades.

En la zona oriental del Sistema Central el Silúrico está representado por pizarras negras, con bancos cuarcíticos en la base.

d) *Carbonífero*

El Carbonífero aflora en la Sierra de la Demanda, el Sistema Central y la Cordillera Cantábrica.

En la Sierra de la Demanda está representado por pequeñas manchas discontinuas, generalmente falladas y muy tectonizadas, que aparecen en contacto directo con el basamento. La serie empieza con conglomerados masivos en la base, y sigue con gravas y una alternancia de areniscas y esquistos micáceos con niveles conglomeráticos y lechos de carbón.

En el Sistema Central, en la zona correspondiente a Burgos y Segovia, afloran pequeños retazos del Carbonífero formados por una alternancia de areniscas, pizarras y conglomerados que contienen algunas capas centimétricas de carbón.

En Palencia, el Carbonífero está afectado por el rasgo tectónico más sobresaliente de todo el Paleozoico peninsular, el arco que describen sus materiales, y que se conoce con el nombre de Rodilla Asturiana. Se caracteriza esta estructura por una serie de mantos, deformados por plegamientos posteriores, en la que las unidades cabalgantes, afectadas por pliegues entrecruzados, se han emplazado gracias a un despegue de la base del Cámbrico. Desde el punto de vista litológico y paleogeográfico, estas unidades se sitúan directamente sobre el Cámbrico, y están formadas por pizarras, areniscas, cuarcitas y calizas.

E) *Mesozoico*

Prácticamente la totalidad de las formaciones mesozoicas de la región castellano-leonesa se sitúa en la mitad oriental de la Cuenca del Duero, donde ocupan el borde meridional de la Cordillera Cantábrica, el occidental de la Sierra de la Demanda, una gran extensión en la provincia de Soria, y los relieves de la Cordillera Ibérica, así como algunos pequeños retazos, generalmente relacionados con cubetas tectónicas, en los bordes del Sistema Central.

a) *Triásico*

Todo el Triás castellano tiene facies germánica, si bien el Buntsandstein y el Muschelkalk no afloran en el extremo NE. En el resto de la región, el primero está constituido por areniscas abigarradas de colores rojizos, con niveles conglomeráticos en la base, y por arcillas apizarradas con fuertes cambios laterales.

El Muschelkalk muestra también grandes variaciones, y se divide en dos partes: la inferior, constituida por bancos de caliza compacta de más de 15 m. de espesor, y la superior, formada por una alternancia de margas, calizas y dolomías.

Por lo que se refiere al Keuper, está representado por margas y arcillas abigarradas con yesos y areniscas.

b) *Jurásico*

El Jurásico de la cuenca del Duero es de una gran variedad, si bien se pueden definir en él dos grandes unidades: el Jurásico marino y el Wealdense. Por lo que se refiere a la composición litológica, dada la enorme complejidad que presenta el Jurásico, se puede resumir diciendo que el Lias está formado por un conjunto de calizas, margas y carniolas. El Dogger y el Malm Inferior están representados por un conjunto calizo-margoso que da lugar a una gran cantidad de pequeños afloramientos, si bien, en la Cordillera Ibérica, la litología se complica con la presencia de calizas areniscosas y dolomíticas, y de margas, existiendo toda clase de términos intermedios entre ellas.

El tránsito del Jurásico al Cretácico se realiza con una facies Weald que está ampliamente representada en el borde occidental de las Sierras de la Demanda, Cameros, Cebollera y Rodadero, y en el borde meridional de la Cordillera Cantábrica. En la Sierra de la Demanda, el Jurásico da lugar a potentes series de sedimentos continentales, de ambiente deltaico, consistentes en conglomerados, cuarzarenitas, limos, calizas y margas.

En el borde Norte de la región, en la Cordillera Cantábrica, la facies Weald corresponde a depósitos del Cretácico Inferior constituidos por arenas, arcillas y margas arenosas, con predominio de las arcillas grises y rojas con ostrácodos. Esta facies Weald no tiene representación en el borde Sur, es decir, en la Cordillera Central.

c) *Cretácico*

El Cretácico está ampliamente representado en las tres áreas de la región castellano-leonesa que tienen materiales mesozoicos. En el borde occidental de la Sierra de la Demanda, el Cretácico Inferior, perteneciente al albense de la facies de Utrillas, está constituido por una formación detrítica de areniscas, arenas y cantos silíceos con arcillas, blanca en la parte superior y roja en la inferior.

En las zonas Norte y Sur, es decir, en las Cordilleras Cantábrica y Central, el Cretácico Inferior presenta también las características típicas de la facies de Utrillas, estando compuesto por areniscas blanco-amarillentas, no cementadas, micáceas, y con lechos de arcilla.

En el borde meridional de la Cordillera Cantábrica hay una serie de afloramientos que forman un conjunto heterogéneo de sedimentos margo-calizos, con niveles o secuencias arenosas, en el que no se ha podido diferenciar la facies Weald.

El Cretácico Superior presenta afloramientos en las tres áreas, aunque está mejor representado en el borde meridional de la Cordillera Cantábrica. Aparece siempre en perfecta concordancia con el Albense. La sucesión comienza por una serie detrítica formada por pudingas, margas rojas, y arenas blancas o rojizas; sigue una serie calcomargosa, cenomanense, y areniscas y calizas turonenses.

F) *Cenozoico*

El Terciario constituye el núcleo principal de la Cuenca del Duero, formando más del 70% de la superficie de la región castellano-Leonesa. De este gran conjunto, los sedimentos del Terciario Inferior o Paleógeno son los menos abundantes, ya que están limitados a las zonas periféricas.

a) *Paleógeno*

El Terciario Inferior cubre grandes extensiones en las provincias de Zamora y Salamanca, y otras mucho más reducidas en las de Avila, Segovia, Soria, Burgos y Palencia.

En el borde SO. se distinguen cuatro tramos. El primero o formación basal, denominado por algunos autores como Preluteciense, está compuesto por conglomerados y/o arenas en la base; areniscas de grano grueso y gravas, en los niveles intermedios; y areniscas con cantos, en el techo, nivel que origina un fuerte resalte morfológico. El conjunto es de edad Paleoceno-Eoceno Inferior. Cuando esta formación basal se encuentra sobre los granitos varía fundamentalmente, ya que la base es un «lehm» de tonos blancos sobre el que se asientan areniscas de cemento silíceo.

El segundo tramo está datado como Luteciense Inferior-Medio, y está formado por limolitas, margas y calizas.

El tercer tramo, del Luteciense Superior-Oligoceno, está formado por una sucesión de ritmos detríticos separados por superficies erosivas. Los ritmos consisten en areniscas con estratificación cruzada, en la base, que pasan a limos y lutitas, al techo, coronado, ocasionalmente, por costras calcáreas.

El cuarto tramo del Paleógeno superior es una serie fluvial cubierta en concordancia por una formación carbonatada de calizas arenosas con intercalaciones margosas. La serie fluvial está constituida por una brecha de cemento calizo que contiene cantos de arenisca de la formación anterior, en la base, y conglomerados poligénicos con cemento calizo, en el techo.

En los bordes S. y SE, es decir, en la provincia de Avila, existen pequeños afloramientos del Paleógeno pinzados en el zócalo paleozoico. Estos afloramientos se habían considerado hasta ahora como neógenos, pero están relacionados con el Preluteciense salmantino. Se trata de conglomerados poligénicos que contienen lentejones pelíticos extraordinariamente silicificados y de los cuales, el mayor, se encuentra al N. de San Muñoz (Avila).

Por otra parte, los últimos descubrimientos paleontológicos han puesto de manifiesto que buena parte del Neógeno indiferenciado de la provincia de Avila pertenece en realidad al Oligoceno. Sin embargo, resulta difícil separar estos materiales de los miocenos, ya que en conjunto forman una potente masa de sedimentos detríticos fluviales, alternante con lechos pelíticos, que llega probablemente hasta el Pontiense.

Este mismo fenómeno de identidad de facies se produce también en los bordes N., en la provincia de Palencia, y SE., en la provincia de Segovia, donde es muy posible que los sedimentos detríticos gruesos del borde de la cuenca sean más antiguos de lo que hasta ahora se había supuesto. En las provincias de Palencia y Burgos, una alternancia de arcillas y areniscas, con niveles de conglomerados calcáreos muy cementados, ha sido datada como el Paleógeno teniendo en cuenta sus relaciones tectónicas con el Mioceno suprayacente y su discordancia con el Cretácico Superior.

En el borde NE. de la Cuenca del Duero no existen apenas diferencias entre los materiales paleógenos y los inmediatamente cercanos, y de la misma edad, pertenecientes a la Cuenca del Ebro. Todos ellos se sitúan sobre el Cretácico, y consisten en margas, margas arenosas, y calizas margo-arenosas, además de conglomerados con cantos de calizas cretácicas y algunos de cuarcitas o cuarzo.

b) *Neógeno*

Desde muy antiguo, se ha venido considerando que las dos submesetas castellanas representan los restos de una gran cuenca lacustre desecada cuyas regiones centrales están actualmente ocupadas por las *calizas de los páramos*, las cuales coronan las *cuestas* y éstas, a su vez, los *campos*. Esta nomenclatura, de claro origen fisiográfico, responde a la realidad estratigráfica solo en cierto modo y en determinadas regiones.

Por debajo de las calizas de los páramos, de edad Pontiense, existe un conjunto de facies a las que se denominó Sarmatiense y que posteriormente se incluyeron en el Pontiense. Dichas facies pueden ser margosas, margo-arcillosas o detríticas. En conjunto, se las puede llamar *facies de las cuestas*, puesto que aparecen en el desnivel topográfico existente entre los *páramos* y las *campiñas*, y su definición es válida para el centro de la Cuenca, es decir, para la provincia de Valladolid y sus zonas limítrofes.

Por último, también debajo del Pontiense, se sitúan las facies del Vindoboniense, al que quizás se deba denominar mejor como Mioceno Medio. Se trata de sedimentos detríticos groseros que ocupan una gran parte de las provincias de Salamanca, Zamora, Avila y Valladolid.

G) *Pliocuaternario*

Por toda la cuenca del Duero, y en especial por su mitad septentrional, se extiende un gran canturreal poligénico, de matriz gredosa, que puede llegar a alcanzar importantes espesores. Su edad es imprecisa, y para referirse a él se utiliza el término Pliocuaternario. Fisiográficamente se trata de *rañas* formadas por la demolición del relieve periférico tras las últimas convulsiones alpinas.

H) *Cuaternario*

En Valladolid y Palencia se han definido cuatro niveles de terrazas cuaternarias, si bien, recientemente, se han llegado a reconocer hasta trece niveles distintos, pero sin que se sepa por ahora cual es su verdadera posición cronológica. Esta diversidad de terrazas se traduce en una cierta variedad litológica, si bien todas tienen en común su naturaleza conglomerática, con modificaciones en cuanto a la composición de los cantos, la matriz y el cemento.

Igualmente importante son los sedimentos arenosos que, por la vegetación que soportan, caracterizan a grandes zonas de las provincias de Segovia y Valladolid, las llamadas *tierras de pinares*. Se trata de materiales cuaternarios, de origen fluvial, retocados posteriormente por una dinámica eólica reciente.

Finalmente, hay que mencionar los aluviones y coluviones que, en mayor o menor grado, jalonan los actuales cursos de agua.

2. RESERVAS Y RECURSOS MINERALES DE LA REGION CASTELLANO-LEONESA

Una vez definidos los aspectos fisiográficos y geológicos de la región castellano-leonesa, se resumen a continuación las características más importantes de los indicios y yacimientos minerales existentes en la región cuya situación se indica en la Fig. I.2.M.1.

Para su estudio, las sustancias minerales se han dividido en cuatro apartados: *productos energéticos*, *minerales metálicos*, *minerales no metálicos* y *productos de cantera*. Con ello se ha pretendido seguir la clasificación utilizada en la Estadística Minera del Ministerio de Industria y Energía, la cual ha servido de base para realizar el análisis económico.

Sin embargo, por diferentes razones, se han introducido en la clasificación anterior algunas ligeras variaciones. Por ejemplo, se ha considerado el uranio no como un mineral metálico sino como un producto energético, ya que es ésta su principal aplicación, mientras que las arcillas, el cuarzo y las arenas silíceas y el yeso se han incluido con los minerales no metálicos y no con los productos de cantera, porque todas estas sustancias requieren un tratamiento previo antes de su comercialización.

Para cada sustancia, se hacen unas consideraciones generales, se valora la importancia de las mineralizaciones castellano-leonesas dentro del contexto nacional, y se describen las características más importantes de las existentes en la región, con una descripción más detallada de las que, por su naturaleza, tienen o pueden tener una importancia significativa para el abastecimiento nacional o como producto de exportación. Este es el caso del carbón, los hidrocarburos y el uranio, entre los productos energéticos; del wolframio, estaño y maganeso, entre los minerales metálicos; de la barita, arcillas, caolín, feldespatos, sales sódicas y yeso, entre los minerales no metálicos; y de las areniscas, granitos y pizarras, entre los productos de cantera.

2.1. PRODUCTOS ENERGÉTICOS

En este primer apartado se han incluido cuatro sustancias, si bien dos de ellas, el gas y los hidrocarburos, se han agrupado bajo un mismo concepto, ya que en la región castellano-leonesa se obtienen las dos conjuntamente en los yacimientos de la provincia de Burgos, los únicos en explotación.

También se han incluido aquí el carbón y el uranio, porque este elemento, aunque de carácter metálico, no tiene más aplicaciones que las energéticas. Por ello, dado su enorme interés estratégico y la importancia de los yacimientos existentes en la provincia de Salamanca, se ha procurado resaltar las posibilidades que ofrece la región para encontrar nuevos yacimientos de esta clase.

En resumen, las sustancias minerales abarcadas por esta apartado son las siguientes.

- A) Carbón (hulla, antracita y lignito).
- B) Hidrocarburos y gas natural.
- C) Uranio.

A) Carbón

a) Generalidades

De las tres formas de presentarse el carbón como producto energético —lignito, hulla y antracita, ya que la turba, utilizada para otros fines, se incluye entre los minerales no metálicos—, son la *hulla* y la *antracita* los únicos combustibles sólidos con cierta importancia en la región castellana, y concretamente en las provincias de Palencia y Burgos que es donde se encuentran todas las explotaciones (PNIM, tomo 17, 1971).

Desgraciadamente, en Castilla la Vieja, sólo la provincia de Palencia cuenta con reservas y posibilidades de interés, consecuencia de lo cual ha sido la autorización previa para la construcción de la nueva Central Térmica de Guardo, de 350 MW, y cuya producción de 1.900 millones de KWh vendrá a unirse a la de la Central de TERMINOR, S. A., de 148 MW, situada en el término municipal de Velilla del Río Carrión. Esta Central, junto con la factoría de productos químicos de Unión Española de Explosivos-Riotinto de Guardo, puesta en funcionamiento en 1943, son los más importantes centros consumidores del carbón de la zona.

En cualquier caso, todo el carbón producido en la región se consume y consumirá en ella, por lo que no se puede pensar en aquella substancia como un producto de exportación.

b) *Los yacimientos de la región y el contexto nacional*

Dejando aparte los lignitos, cuyo valor económico en la región castellano-leonesa es muy reducido, la minería del carbón en España (Fig. I.2.M.2) está concentrada principalmente en las provincias de León, Asturias, Palencia, Córdoba, Ciudad Real y Sevilla, con algunos yacimientos de menor interés en Burgos, Gerona y Lérida.

Por lo que se refiere a la *antracita* (Fig. I.2.M.3), los principales productores están en Asturias, León, Palencia, Córdoba y Lérida, ya que la cuenca de S. Adrián de Juarros, en la provincia de Burgos, hace tiempo que está inactiva. En cuanto a la *hulla*, existe en España una gran variedad de yacimientos (Fig. I.2.M.2), diseminados por todo el ámbito nacional, si bien, por su tonelaje y condiciones de explotación, la mayor parte de ellos tiene poco interés o éste es sólo circunstancial.

La edad de las principales formaciones productoras de hulla y antracita corresponde tanto al Westfaliense como al Estefaniense, ya que las cuencas carboníferas posteriores al Paleozoico sólo contienen *lignitos* (Fig. I.2.M.4).

En la región Castellano-Leonesa, la *antracita*, cuyo principal empleo van a ser las centrales térmicas, que absorberán el 75% de la producción nacional, tiene todas sus reservas situadas en la cuenca Guardo-Cervera, en la provincia de Palencia.

Lo mismo ocurre con la *hulla*, ya que ésta se encuentra fundamentalmente en las pequeñas cuencas de San Cebrián y Barruelo, también en la provincia de Palencia, pues la más pequeña de Villasur, al pie de la Sierra de la Demanda, en la provincia de Burgos, hace ya tiempo que se dejó de explotar.

Por último, hay que citar la existencia de algunos afloramientos de *lignito* en los sedimentos del Albense de la facies de Utrillas, que aflora al Oeste y Suroeste de la Sierra de la Demanda, en la provincia de Burgos. Pero estas áreas sólo tienen un relativo interés potencial, y nunca se han desarrollado en ellas explotaciones importantes.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Dado el interés de la zona como potencial fuente de carbón con destino a las centrales térmicas, a continuación se resumen las principales características geológicas de la cuenca de antracita de Guardo y de las de hulla de S. Cebrián y Barruelo, ya que son éstas las de mayor interés en la región.

En este sentido, es de destacar que el Centro de Estudios de la Energía (1977) desarrolló un programa de investigación y sondeos para determinar los recursos de las zonas de Guardo-Cervera y Barruelo-La Pernía, ya que ambas quedaban bajo la influencia de la Central Térmica de TERMINOR, S. A.

Desde el punto de vista geológico, ambas cuencas (Fig. I.2.M.5) comprenden dos unidades que tienen diferente edad: una, perteneciente al intra-Westfaliense B, se extiende únicamente por la subzona de La Pernía-San Cebrián-Barruelo, mientras que la otra, correspondiente al intra-Westfaliense D, se encuentra tanto en ésta subzona como en la Guardo-Cervera. Ambas unidas fueron intensamente plegadas durante la fase Astúrica que se desarrolló durante el intra-Westfaliense A.

Estratigrafía

En la cuenca sedimentaria de la Pernía-Barruelo, la sedimentación fue preferentemente deltaica, con facies marinas de tipo somero entre los que se intercalaron episodios continentales con capas de

carbón. La cuenca se caracterizó por su inestabilidad, y su relleno tuvo lugar en dos etapas bien definidas:

- 1.^a depósitos basales, constituidos por los conglomerados de Curavacas, del Westfaliense B.
- 2.^a pizarras, turbiditas y calizas, del Westfaliense C.

A finales del Westfaliense C, el mar se hizo más somero, depositándose entonces lodos y areniscas con estratificación cruzada. Hay además intercalaciones continentales con formación de capas de carbón y calizas biogénicas de tipo lenticular.

Después de los movimientos tectónicos de la fase Leónica, que tuvieron lugar durante el Westfaliense D, se formó una nueva cuenca sedimentaria que abarca prácticamente a toda la zona norte de Palencia y que, a través de Cervera y Guardo, se extiende hasta la zona de Valderrueda, en la provincia de León.

La cuenca fue preferentemente marina en la parte oriental, es decir, en la Subzona de La Pernía-Barruelo, mientras que hacia el oeste aumenta la influencia continental, la cual llega a ser del 50% en la subzona Valderrueda-Guardo.

Tramos mineralizados

La serie sedimentaria de la *Subzona de Guardo* se apoya discordante sobre el Devónico y Carbonífero inferior, y está constituida por una alternancia de tramos marinos y continentales cuya potencia, donde se encuentran los niveles de carbón, es la siguiente:

Tramo de <i>Santo Domingo</i>	44 m.
Tramo de <i>Prado</i>	330-410 m.
Tramo de <i>Villamonte</i>	205-335 m.
Tramo de <i>La Espina</i>	240m.
Tramo de <i>La Choriza</i>	140-207 m.
Tramo de <i>Acebal</i>	80-130 m.
Tramo de <i>Santibáñez</i>	80-130 m.
Tramo de <i>Tarilonte</i> (parcialmente marino).....	280-450 m.
Tramo de <i>San Pedrín</i>	100-145 m.
Tramo de <i>Requejada</i>	190-200 m.
Tramo de <i>Temosos</i>	120-265 m.

Las explotaciones de carbón se localizan en los tramos subrayados. La potencia total de la serie es de 3.100 m. y las características mineralúrgicas de los carbones de esta zona son las siguientes:

Area A	(Antracitas de Velilla)	30.05%	35.00% de cenizas
		33.62%	12.90% de cenizas
		36.32%	80.00% de cenizas
Area B	(Instituto Carbón)	36.14%	73.47% de cenizas
		63.86%	58.47% de cenizas
Area C	(Minero Cántabro Bilbaina, San Luis, y S. Claudio)	50.80%	50.60% de cenizas
		49.20%	25.00% de cenizas

En la *Subzona de Barruelo*, la serie sedimentaria es en gran parte marina, con excepción del Estefaniense de Peña Cildá, y tiene una potencia que sobrepasa probablemente los 8.000 m. En esta serie se intercalan pequeños niveles continentales en los que se localizan las capas de carbón, cuya potencia es la siguiente:

Formación <i>Peña Cildá</i>	> 500 m.
Formación <i>Barruelo</i>	1.200 m.
Formación <i>Brañosera</i>	870 m.
Formación <i>San Salvador</i>	max. 200 m.
Formación <i>Ojosa</i>	> 2.200 m.
Formación <i>Vergaño</i>	1.350 m.

Tabla I.2.1. Reservas y recursos de carbón en la zona de Guardo-Barruelo

Campo Cuantificado	Tonelaje Téorico	Coefficiente de Alternancia	Coefficiente de Fallas y Esterilidades	Coefficiente de Pérdidas por Explotac.	Tonelaje Práctico	Tonelaje muy probable	Tonelaje probable	Tonelaje posible	Tonelaje hipotético
9.1. Subzona Valderrueda-Guardo.....	628.371.178				120.897.634	22.040.378	23.729.352	26.206.440	48.921.464
9.1.1. Area A.....	274.985.000				72.316.856	13.385.926	13.930.686	16.407.774	28.592.470
9.1.1.1. Subárea 1.....	207.856.000	0,50	0,70	0,80	58.199.680	13.385.926	11.639.936	11.639.936	21.533.882
9.1.1.2. Subárea 2.....	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9.1.1.3. Subárea 3.....	17.725.000	0,50	0,70	0,80	4.963.000	—	1.240.750	1.240.750	2.481.500
9.1.1.4. Subárea 4.....	15.000.000	0,50	0,70	0,80	4.200.000	—	1.050.000	1.050.000	2.100.000
9.1.1.5. Subárea 5.....	34.404.000	0,30	0,60	0,80	4.954.178	—	—	2.477.088	2.477.088
9.1.2. Area B.....	139.274.176				27.102.698	5.090.498	5.503.050	5.503.050	11.006.100
9.1.2.1. Paquete Superior.....	7.090.176	1,00	0,70	0,80	3.970.498	3.970.498	—	—	—
9.1.2.2. Paquete Central.....	62.960.000	0,50	0,50	0,70	11.018.000	1.120.000	2.474.500	2.474.500	4.949.000
9.1.2.3. Paquete de Muro.....	69.224.000	0,50	0,50	0,70	12.114.200	—	3.028.550	3.028.550	6.057.100
9.1.3. Area C.....	214.112.000				21.478.080	3.563.954	4.295.616	4.295.616	9.322.894
9.1.3.1. Sub. O. Río Carrión.....	66.912.000	0,30	0,50	0,60	6.022.080	936.434	1.204.416	1.204.416	2.676.814
9.1.3.2. Sub. E. Río Carrión.....	147.200.000	0,30	0,50	0,70	15.456.000	2.627.520	3.091.200	3.091.200	6.646.080
9.2. Subzona La Pernia-Barruelo.....	426.759.651				98.104.671	13.830.224	24.490.332	26.032.578	33.751.537
9.2.1. Area de S. Cebrián.....	221.533.702				42.667.063	2.133.504	6.858.935	6.858.935	26.815.689
9.2.1.1. Subárea 1.....	88.907.814	0,50	0,70	0,80	24.894.187	2.133.504	5.690.171	5.690.171	11.380.341
9.2.1.2. Subárea 2.....	37.103.616	0,30	0,60	0,70	4.675.055	—	1.168.764	1.168.764	2.337.527
9.2.1.3. Subárea 3.....	59.000.832	0,30	0,60	0,80	8.496.120	—	—	—	8.496.120
9.2.1.4. Subárea 4.....	36.521.440	0,30	0,60	0,70	4.601.701	—	—	—	4.601.701
9.2.2. Area de Barruelo.....	170.912.000				47.855.360	11.038.698	16.191.053	17.151.874	3.473.735
9.2.2.1. Paquete Barruelo.....	144.515.840	0,50	0,70	0,80	40.464.435	11.038.698	14.712.868	14.712.869	—
9.2.2.2. Paquete Peñacorva.....	26.396.160	0,60	0,70	0,80	7.390.925	—	1.478.185	2.439.005	3.473.735
9.2.3. Area de Casavegas-Redondo.	34.313.949				7.582.248	658.022	1.440.344	2.021.769	3.462.113
9.2.3.1. Subárea de Casavegas.....	28.937.949	0,50	0,60	0,70	6.076.968	658.022	1.064.024	1.645.449	2.709.473
9.2.3.2. Subárea de Redondo.....	5.376.000	0,50	0,70	0,80	1.505.280	—	376.320	376.320	752.640
TOTAL ZONA GUARDO-BARRUELO	1.055.110.827				219.002.305	35.870.602	48.219.684	52.239.018	82.673.001

Las cinco primeras formaciones pertenecen al intra-Westfaliense D y la última al intra-Westfaliense B. Otras tres formaciones —Verdeña, Pozo y Vañes—, intercaladas entre las anteriores pero sin carbón, completan la secuencia sedimentaria.

Las características de los carbones de esta cuenca son las siguientes:

Cenizas.....	26%
Humedad.....	4%
Materias volátiles.....	8%

Recursos mineros

En la Tabla I.2.1, se resumen los resultados obtenidos en la cubicación de la zona de Guardo-Barruelo según el estudio efectuado por el Centro de Estudios de la Energía (1977). Los datos están expresados en toneladas.

Dada la importancia de los recursos, casi 220 millones de toneladas, es muy importante tener en cuenta, además, la posibilidad de que la cuenca carbonífera de Guardo se prolongue por debajo de la Meseta. En este sentido, hace ya bastantes años se hicieron estudios geosísmicos y geoelectricos por el Instituto Geológico y Minero de España que vinieron a confirmar la extensión del Carbonífero hacia el sur, pero que dejaron dudas en cuanto a la profundidad y disposición tectónica de sus capas por debajo de los sedimentos mesozoicos y cenozoicos de la Meseta.

Posteriormente, se efectuó un sondeo que confirmó parcialmente los resultados obtenidos por las investigaciones geofísicas. Sin embargo, el INI no se decidió a realizar sondeos más profundos por estimar que las capas del Carbonífero debían estar muy trastocadas y que su explotación iba a ser imposible en aquellos momentos.

Ahora, en cambio, teniendo en cuenta la situación energética mundial y lo avanzado que se encuentran en el mundo los estudios para la gasificación «in situ» del carbón, es evidente la gran trascendencia que tendría el que la cuenca carbonífera de Guardo, que contiene unas reservas muy importantes en sus doce potentes capas de carbón, se prolongara, al igual que puede ocurrir con las de la provincia de León —Boñar, San Adrián y Otero— por debajo del Terciario de Castilla la Vieja.

B) Gas e hidrocarburos

a) Generalidades

Los hidrocarburos, la fuente más importante de energía en la actualidad, son desgraciadamente muy escasos en España. El descubrimiento en 1964 del campo de la Lora hizo concebir muchas esperanzas, pero hubo que esperar hasta 1973 para encontrar de nuevo una zona productora, el sondeo Amposta, frente a las costas de Tarragona. Actualmente, las 986.000 t. producidas en 1978 no cubren, ni con mucho, las necesidades de nuestro país.

Por lo que se refiere al gas, el que se obtiene en Ayoluengo se emplea para operar las máquinas, pero hay que señalar que cantidades subcomerciales se extraen en la provincia de Alava.

Ultimamente, el reciente e importante descubrimiento de gas en Jaca, unido a la existencia de hidrocarburos en otros tres sondeos del Mediterráneo, ha hecho renacer las esperanzas de encontrar nuevos campos de energía, bien sea gas o petróleo, en nuestro país.

b) Los yacimientos de la región en el contexto nacional

Los yacimientos españoles de hidrocarburos se distribuyen en dos zonas (Fig. I.2.M.6); la *continental*, a la que pertenecen los campos de Ayoluengo, Tozo y Huidobro —estos dos últimos, no comerciales—, en el Wealdense, y Hontomín, en el Jurásico, y la de *plataforma*, con los sondeos en producción de Amposta, Casablanca, Dorada y Tarraco. El gas solamente se obtiene en el Cretácico Superior, en los dos sondeos de Castillo, en la provincia de Alava.

La producción de hidrocarburos en España desde el año 1963, en que entró en producción el gas de Castillo, se indica en la Tabla I.2.2.

Tabla I. 2.2. Producción de Hidrocarburos en España

PETROLEO, MILES DE TONELADAS							Gas mill. de m ³ .
Año	Ayoluengo	Amposta	Casablanca	Dorada	Tarraco	Total	Castillo
1963							3.816
1964							2.475
1965							2.474
1966	4					4	2.475
1967	110					110	2.475
1968	110					110	2.475
1969	193					193	2.476
1970	156					156	1.749
1971	126					126	2.038
1972	138					138	1.926
1973	111	653				764	1.528
1974	84	1.892				1.976	1.408
1975	66	1.961				2.027	1.163
1976	67	1.705				1.772	1.250
1977	65	690	111		120	986	896
1978	61	392	102	164	267	986	850
Total	1.291	7.293	213	164	387	9.348	31.373

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Antes del descubrimiento de hidrocarburos en la plataforma del Mediterráneo, los mejores indicios españoles de petróleo y gas se habían encontrado en el Jurásico y Cretácico Inferior.

Las rocas madre más prometedoras son las del Jurásico marino y Purbeckiense-Neocomiense, mientras que las rocas-almacén más favorables son los carbonatos del Jurásico y las arenas del Albense y Wealdense.

Por lo que se refiere a la región Castellano-Leonesa, sería en estas formaciones donde, si se multiplicara el número de sondeos, se podrían encontrar, quizás, nuevos yacimientos, por lo que serían las provincias de Burgos y Soria las que tiene mayores posibilidades.

En cuanto al gas natural, las formaciones más antiguas capaces de contener acumulaciones comerciales son las del Carbonífero, concretamente las alternancias de areniscas y lutitas portadoras de abundante materia orgánica. Las rocas almacén suelen ser en estos casos las areniscas del Trias, concretamente las del Buntsandstein, tanto si se trata del petróleo originado en las calizas del Muschelkalk como del gas producido durante la litificación y diagénesis de los sedimentos del Carbonífero. Además, las capas y diapiros salinos del Keuper constituyen, por su parte, una excelente *cap rock*. Todo ello apunta igualmente a las favorables condiciones de Burgos y Soria para que puedan tener este tipo de yacimientos.

En cualquier caso, dado que los campos de gas tienen en España una inmediata aplicación comercial, es indudable que la exploración de estos últimos no debería interrumpirse, tanto en las formaciones cenozoicas como en los sedimentos terciarios que cubren gran parte de la Meseta.

d) *El yacimiento de Ayoluengo (Burgos)*

El campo petrolífero de Ayoluengo fue descubierto por CAMPSA-AMOSPAIN en 1964 (QUEROL, 1969). Está situado en la culminación de un gran domo anticlinal formado durante el Wealdense (Fig. I.2.G.1) el cual está atravesando por varias fallas que han provocado el hundimiento del bloque central durante el Terciario. Por otro lado, es muy probable que bajo el anticlinorio exista un domo salino del Trias.

De acuerdo con el sondeo «Ayoluengo n.º 1», la columna estratigráfica de los materiales mesozoicos atravesados por el mismo es la siguiente:

0-248 m, Calizas marinas y margas del Cretácico Superior. Los fósiles más antiguos son del Cenomanense.

248-610 m. Arenas sueltas de la facies de Utrillas (Albense).

Discordancia

610-924 m. Arcillas multicolores, con intercalaciones de areniscas y dolomias azoicas, que contienen agua dulce y salobre, piritita y materia carbonosa, de edad Wealdense.

Probable discordancia

924-1.115 m. Lutitas grises y areniscas y calizas del Wealdense con una fauna de ostrácodos del Purbeckiense. En la base de este tramo, que constituye la Unidad A, existen unas calizas muy resistentes que forman un excelente nivel guía. La salinidad del agua de impregnación varía entre 15.000 y 20.000 ppm. Una cierta cantidad de petróleo se extrae aquí de las areniscas y calizas.

1.115-1.580 m. Arcillas multicolores, azoicas, del Wealdense, con anhidrita y algunas dolomias de origen continental o deltaico. Aquí se encuentra la mayor parte del petróleo del campo de Ayoluengo, el cual impregna cuerpos lenticulares de areniscas. La salinidad del agua es del orden de 50.000 ppm. En la base de esta sección, que constituye las unidades B y C de los geólogos de Ayoluengo, hay una calcarenita, formada por fragmentos de calizas, cuyo tamaño está comprendido entre cantos y limos, que sugiere la existencia de una discordancia entre esta formación y el Jurásico subyacente.

1.580-2.375 m. Carbonatos y margas marinas del Jurásico. Dentro de las calcarenitas de este tramo se han obtenido pequeñas cantidades de aceites ligeros. La base de la unidad está formada por anhidrita y dolomias (carniolas) que pasan gradualmente al Keuper.

2.375-2.397 m. Dolomias, sal y anhidrita del Keuper. Excepto en el caso de una caliza fracturada del Purbeckiense, las rocas almacén de Ayoluengo son principalmente arenas, con porosidad media del 18% y una permeabilidad variable. El campo está dividido en varias zonas productoras por un sistema de fallas y la naturaleza discontinua de las areniscas.

El petróleo de Ayoluengo tiene un alto contenido en cera, tal y como ocurre en casi todos los que se encuentran en sedimentos continentales. El contenido en azufre es bajo, aproximadamente el 0,17%, y el de arsénico alto, de 22 a 23 ppm. El petróleo es más ligero en profundidad, variando la densidad de 20° a 39° API. Las reservas recuperables se han calculado en dos millones de toneladas.

C) *Uranio*

a) *Generalidades*

Después de iniciada la era atómica con las explosiones de Hiroshima y Nagasaki, en 1945, y antes de que el uranio se empezara a utilizar para la producción de energía con la puesta en marcha del reactor de Calder Hall, en Inglaterra, a comienzos de la década de los 50, dicho elemento tenía sólo dos aplicaciones: la obtención del radio, que le acompaña siempre en sus minerales, y la producción de radioisótopos, debido a la amplia utilización que ambas sustancias tienen en medicina, para diagnósticos y terapia; en los estudios biológicos, para esterilización; y en la industria y trabajos de investigación, como elementos trazadores, medidores y aceleradores de las reacciones químicas y bioquímicas, y para la conservación de alimentos por irradiación.

En la actualidad, todos estos usos han quedado empujados ante el masivo empleo del uranio para la producción de energía eléctrica en los reactores nucleares, ya que éstos, a pesar de la controversia que suscitan, se hacen cada día más indispensables. Por ello, la búsqueda y explotación de los minerales de uranio constituye hoy, dado el continuo e imparable aumento del precio del petróleo, una actividad prioritaria en todos los países desarrollados o en vías de desarrollo que carecen de yacimientos o reservas importantes de hidrocarburos.

De los minerales de uranio, los más importantes por su contenido en este elemento son los primarios, especialmente la *uraninita* o *pechblenda* (UO_2). En segundo lugar, por ser más raros, los *óxidos complejos* —niobatos, tantalatos y titanatos de uranio, de los cuales se han encontrado en España dos, la *brannerita* y *dauidita*— y la *coffinita*, $U SiO_4(OH)$, son los más importantes, y van siempre acompañados por los minerales secundarios, especialmente los *óxidos hidratados*, que se producen durante los procesos de meteorización. De las numerosas especies de estos últimos los más frecuentes son los *fosfatos* y *silicatos*, a los que siguen en importancia los *vanadatos*, *carbonatos*, *sulfatos* y *molibdatos*. Hasta el punto de que los fosfatos, silicatos y vanadatos de uranio pueden dar lugar por sí mismos a yacimientos de gran importancia económica.

Los yacimientos de uranio son muy variados, ya que este elemento se caracteriza por su enorme dispersión. Por ello, aparte las concentraciones de uranio que dan lugar a yacimientos explotables, este elemento se encuentra en estado de trazas en todas las rocas de la corteza terrestre y especialmente en las rocas plutónicas de carácter ácido.

Por lo que se refiere a las mineralizaciones españolas relacionadas con rocas ígneas, las cuales son especialmente abundantes en la Meseta, el uranio se encuentra en *pegmatitas* potásicas (K.U-Ce), *aplitas* sódicas (na.U-Ti) y *filones*, perteneciendo a estos últimos los yacimientos más importantes. De entre ellos, los caracterizados por la asociación del uranio con cuarzo y sulfuros de cobre (q.U-Cu), sulfuros de hierro (q.U-Fe), sulfuros de níquel y cobalto (m.U-Ni-Co), elementos polimetálicos (q.UBG) y fluotita (q.U-F) son los más frecuentes (ARRIBAS, 1978).

Hay que señalar, de todas maneras, que si bien estas asociaciones dan lugar a yacimientos situados normalmente dentro de las propias rocas ígneas, a una de ellas, la del uranio con sulfuros de hierro, que se encuentra en este caso en rocas metamórficas peribatolíticas, corresponden los mayores yacimientos de uranio que se han encontrado hasta ahora en España.

En cuanto a las mineralizaciones en rocas sedimentarias, existen en nuestro país indicios importantes en las formaciones mesozoicas y cenozoicas —especialmente los que corresponden a la asociación del uranio con cobre, de las areniscas del Triás, y con materia orgánica, de los lignitos terciarios—; siendo de destacar que si, por ahora, las mineralizaciones de la cobertura parecen tener un interés menor que las de la Meseta, ello puede ser debido a que la prospección sistemática de las formaciones sedimentarias se acometió en España mucho después que la del Paleozoico de la Meseta, es decir, bien avanzada ya la década de los sesenta (PNEM, tomo 22, 1971).

En el momento actual, las reservas razonablemente seguras, a menos de 80 \$/k, precio actual del uranio en el mercado, son del orden de las 10.000 t. de U_3O_8 , de las cuales, unas 1.000 se localizan en Mazarete (Guadalajara), 7.000 en el área de Ciudad Rodrigo (Salamanca), y el resto entre Don Benito (Badajoz) y los restantes yacimientos españoles. Las reservas a precios más elevados y los recursos con interés económico inmediato doblan, como mínimo, la cifra arriba indicada, que corresponde a las reservas actualmente explotables.

En cualquier caso, y aunque es España, después de Francia y Suecia, el país europeo con mayores reservas de uranio, nuestros minerales no se podrán probablemente exportar nunca dada la escasez de recursos energéticos —carbón e hidrocarburos— de nuestros país.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Por el momento, ya que la prospección de minerales radiactivos no ha terminado aún en España, los principales yacimientos de uranio se encuentran en el área herciniana de la Península Ibérica —unos en el granito y otros en las pizarras más o menos metamorfozadas que lo rodean—, en zonas bien definidas desde el punto de vista estructural correspondientes en su mayor parte a las zonas centro-occidental y sud-occidental de la Península Ibérica. Aquí, los más importantes son los yacimientos de tipo filoniano que se extienden por las provincias de Jaén, Córdoba, Badajoz, Cáceres y Salamanca, entre la fractura del Guadalquivir y la frontera portuguesa, ya que en ellas se encuentran las mineralizaciones más interesantes, especialmente cuando contienen minerales primarios.

La Fig. I.2.M.7, representa un mapa de la Península Ibérica en el que se ha señalado, sobre una base geotectónica muy esquemática, la situación de los principales indicios y yacimientos españoles de minerales radiactivos. Los números señalan las localidades más próximas a las áreas mineralizadas y en cuya proximidad se encuentran los yacimientos o indicios más importantes, siendo de destacar que casi

todas estas mineralizaciones han sido encontradas por la Junta de Energía Nuclear desde 1949 hasta el presente.

A continuación, se indican cuales son estos afloramientos agrupados de acuerdo con la clasificación propuesta por ARRIBAS (1975).

DIQUES EN ROCAS IGNEAS, METAMORFICAS Y SEDIMENTARIAS

1. Sierra Albarrana (Córdoba).
2. Fuenteovejuna (Córdoba).
3. Besullo y Cangas del Narcea (Asturias).
4. Villanueva del Fresno (Badajoz).

FILONES HIDROTERMALES EN ROCAS IGNEAS, MERAMÓRFICAS Y SEDIMENTARIAS

5. Monesterio (Badajoz).
6. Andújar (Jaén).
7. Venta de Cardeña (Córdoba).
8. Albalá (Cáceres).
9. Albalá (Cáceres).
10. Alburquerque (Badajoz).
11. Alburquerque (Badajoz).
12. Navas del Madroño (Cáceres).
13. Cesar de Cáceres (Cáceres).
14. Trujillo (Cáceres).
15. Villar del Pedroso (Cáceres).
16. Escalona (Toledo).
17. Mijares (Avila).
18. La Parrilla (Toledo).
19. Madrigal (Avila).
20. Navarredonda de la Sierra (Avila).
21. Vadillo de la Sierra (Avila).
22. El Guijo (Avila).
23. Martinamor (Salamanca).
24. Alberguería (Salamanca).
24. Alberguería (Salamanca).
25. Casillas de Flores (Salamanca).
26. San Felices de los Gallegos (Salamanca).
27. Bañobárez (Salamanca).
28. Lumbrales (Salamanca).
29. Villar de Peralonso (Salamanca).
30. San Rafael (Segovia).
31. Navarredonda (Madrid).
32. Montederramo (Orense).
33. Friol (Lugo).
34. Villamayor de Negal (Lugo).
35. Darnius (Gerona).
36. Andújar (Jaén).
37. Venta de Cardeña (Córdoba).
38. Villanueva del Fresno (Badajoz).
39. Cazorla (Jaén).

MINERALIZACIONES ESTRATIFORMES SINGENÉTICAS

40. Santa Elena (Jaén).
41. Cantillana (Sevilla).
42. Dos Aguas (Valencia).
43. Valdemeca (Cuenca).
44. Mazarete (Guadalajara).
45. Abéjar (Soria).
46. Cabrejas del Pinar (Soria).
47. Salas de los Infantes (Burgos).
48. Briviesca (Burgos).
49. Leiza (Navarra).
50. Epila (Zaragoza).
51. Mequinenza (Zaragoza).
52. Fraga (Huesca).
53. Calaf (Barcelona).
54. Santa Coloma de Queralt (Barcelona).
55. La Plana de Monrós (Lérida).
56. Montanuy (Huesca).
57. Seo de Urgel (Lérida).
58. Berga (Lérida).
59. Peñalen (Guadalajara).
60. Utrillas (Teruel).
61. Estercuel (Teruel).
62. Ariño (Teruel).
63. Andorra (Teruel).

MINERALIZACIONES ESTRATIFORMES EPIGENÉTICAS

64. Paracuellos del Jarama (Madrid).
65. Córcoles (Guadalajara).
66. Loranca del Campo (Cuenca).

MINERALIZACIONES EN ROCAS IGNEAS Y METAFÓRICAS

67. Porriño (Pontevedra).
68. Burguillos del Cerro (Badajoz).
69. Santa Olalla de Cala (Badajoz).
70. Gavá (Barcelona).
71. Santa Creu d'Olorde (Barcelona).
72. Malgrat (Barcelona).
73. Aljucén (Badajoz).
74. El Castillejo (Cáceres).
75. Peraleda de San Román (Cáceres).
76. Ojaranzo (Cáceres).
77. Ceclavín (Cáceres).
78. La Garguera (Cáceres).
79. Alameda de Gardón (Salamanca).
80. Gallegos de Argañán (Salamanca).
81. Saelices (Salamanca).
82. Villar de la Yegua (Salamanca).
83. Villavieja de Yeltes (Salamanca).

84. Villares de Yeltes (Salamanca).
85. Carpio de Azaba (Salamanca).
86. Don Benito (Badajoz).
87. Encinasola (Badajoz).
88. Palacios de la Sierra (Burgos).

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Por lo que se refiere a la región Castellano-Leonesa, y con independencia de los indicios sin valorar o carentes por ahora de interés de Burgos —Salas de los Infantes, Briviesca y Palacios de la Sierra—, Soria —Abéjar y Cabrejas del Pinar—, Avila —Mijares, Madrigal, Navarredonda, El Guijo y Vadillo de la Sierra— y Segovia —Otero y San Rafael—, hay que destacar la importancia económica que tienen los indicios y yacimientos de uranio existentes en la zona de Ciudad Rodrigo (Fig. I.2.M.8), los cuales hacen que la provincia de Salamanca, que es a hoy la primera productora de energía eléctrica en nuestro país, esté también a la cabeza en lo que se refiere a reservas y producción de materias primas radiactivas.

Todo lo cual confiere a la región Castellano-Leonesa una importancia excepcional en el contexto nacional de la producción de energía, pues, aparte del volumen de sus reservas de uranio metal —más de 7.000 t.— hay que señalar la reciente autorización por el Gobierno para la construcción de una planta de tratamiento de minerales radiactivos —600 t. de uranio anuales, para 1982— en Saelices el Chico (Salamanca), así como las grandes posibilidades que aún existen en el Centro-Oeste de la Península para encontrar nuevos yacimientos del tipo metalogénico de Ciudad Rodrigo, el cual fue definido precisamente en España. Siendo de destacar que estas posibilidades se han visto acrecentadas con el descubrimiento de unos yacimientos análogos en el NO de los EE.UU.

Por todo ello, para que se comprenda mejor cual debe ser la dirección en que se deben buscar nuevos yacimientos de uranio en la región, y sin olvidar las posibilidades que aún existen para encontrar mineralizaciones en los sedimentos continentales del Terciario que cubren el zócalo de la Meseta —prueba de ello es la reciente autorización por el Gobierno para que varias compañías españolas y extranjeras actúen con este fin—, se resumen a continuación las características geológicas de los tres tipos principales de yacimientos de uranio que existen en la región.

d) *El yacimiento «Valdemascaño»*

Los trabajos de investigación en el filón «Valdemascaño», situado unos 5 km. al Este de Lumbrales, en la provincia de Salamanca, se realizaron hasta 120 m de profundidad y sobre unos 300 m. de longitud.

La mineralización uranífera (ARRIBAS, 1963) está localizada en uno de los numerosos afloramientos de granodiorita que forman parte del complejo cristalino situado al NO de la provincia de Salamanca (Fig. I.2.M.8), muy cerca de la frontera portuguesa, en una región donde el granito está atravesado por grandes y potentes diques de cuarzo.

Las deformaciones tectónicas alcanzan gran intensidad dentro o en el contacto de las rocas filonianas, ya que las rocas encajantes aparecen fracturadas y con frecuentes texturas catacláticas. Además, estas rocas muestran frecuentes alteraciones, unas anteriores —sericitización y cloritización y otras —silicificación-hematización y arcillización-jasperización— relacionadas con la venida uranífera.

La mineralización se presenta como venillas de pechblenda que rellenan las fisuras producidas en una brecha de cuarzo y sulfuros BGPC (esfalerita, galena, pirita y calcopirita), acompañados por cantidades accidentales de niquelina, calcosina y covelina. El cuarzo del filón, generalmente de tipo jasperoideo y calcedonioso, está triturado e impregnado por minerales secundarios de uranio, principalmente torbernita, aunque son frecuentes también las gummitas, autunita, parsonsita, renardita, uranotilo, y uranopilita. Los minerales primarios de uranio son pechblenda y algo de coffinita.

Este tipo de yacimiento filoniano, intragranítico, es análogo a los de «La Carretona», en Albalá (Cáceres) y «El Berrocal», en Escalona (Toledo), todos ellos pertenecientes a la paragénesis (q.U-BG) característica del gran yacimiento de «Urgeirica», cerca de Viseu, en Portugal.

e) El yacimiento «Peralonso»

Los trabajos de investigación —labores mineras y sondeos de reconocimiento—, únicos realizados hasta ahora, en el yacimiento «Peralonso», situado al Este y junto al pueblo de Villar de Peralonso, en la provincia de Salamanca (Fig. I.2.M.8), han puesto de manifiesto que se trata de un *stockwork* alargado en dirección NE donde los minerales uraníferos se distribuyen con mucha irregularidad.

El área mineralizada, que se encuentra en una estructura tectónica de más de 6 km. de longitud, ha sido reconocida por estudios geofísicos, sondeos y labores mineras (PNIM, tomo 12, 1971), especialmente en la zona comprendida entre el km. 48 de la carretera de Salamanca a Lumbrales y el borde septentrional del complejo metamórfico situado al E de Villar de Peralonso. En esta zona, que tiene aproximadamente 1,5 km. de longitud y una anchura variable de varias decenas de metros, se perforó un pozo que alcanzó los 100 m. de profundidad, y se efectuaron varios sondeos que demostraron la continuidad de la mineralización hasta, por lo menos, 300 m.

Los minerales de uranio, asociados a fluorita y sulfuros de hierro —paragénesis (q,U-F)—, se encuentran (ARRIBAS, 1964) en un granito adamellítico de dos micas que contiene abundantes intercalaciones de sienitas y neis biotíticos, éstos con aspecto frecuentemente migmatítico. Algunos diques de aplitas, pegmatitas y cuarzo atraviesan, junto con los filones de jaspe gris y hematítico, a las rocas encajantes de la mineralización.

La intensidad de las deformaciones tectónicas que han actuado sobre las rocas encajantes ha sido muy importante. Así, en la proximidad de la zona filoniana, las rocas adquieren una textura cataclástica, e incluso milonítica, ya que los productos sericíticos procedentes de la alteración de los feldespatos se unen a las micas para acentuar la orientación de los elementos de la roca.

Aparte la cataclasis, también son considerables las sericitación y cloritización de las rocas encajantes —procesos anteriores al emplazamiento de la mineralización—, y la silicificación, hematización y arcillización relacionadas directamente con la venida uranífera.

En cuanto a la mineralización, ésta se presenta en brechas y fracturas del granito cuyos fragmentos aparecen reunidos y los huecos ocupados por venidas sucesivas o alternantes de jaspe, hematítico o no; fluorita, generalmente de la variedad antozonita; sulfuros de hierro, pirita, marcasita y melnikovita; y algo de esfalerita y calcopirita; todos los cuales acompañan a los minerales primarios de uranio que en este caso son coffinita y, accesoriamente, pechblenda. Por lo que se refiere a los minerales secundarios, la autunita, uranotilo y renardita son los más importantes.

El yacimiento de Villar de Peralonso, que desde el punto de vista económico constituye uno de los más prometedores de España por la continuidad y potencia de la estructura mineralizada, tiene además un gran interés científico, ya que es éste el primer yacimiento filoniano en el que se ha visto que la coffinita puede ser un importante mineral primario de uranio. En efecto, hasta 1958, en que Polikarpova y Ambartsumian y Murakoshi y Koseki citaban, por separado, la presencia de coffinita, junto a otros minerales primarios, en yacimientos filonianos de la URSS y Japón respectivamente, se consideraba que dicho mineral sólo aparecía en cantidades significativas en los yacimientos sedimentarios del tipo de la Meseta del Colorado, por lo que cuando se encontraba en yacimientos filonianos se pensaba que era un producto supergénico y que únicamente se formaba en la zona de meteorización. Y fue precisamente en España, país en que la coffinita es muy frecuente, donde se comprobó que el silicato de uranio puede ser metalogénicamente análogo a la pechblenda y, como ésta, el constituyente principal de las mineralizaciones primarias de uranio en las zonas hipogénicas de ciertos filones encajados en rocas muy silíceas.

f) Las pizarras uraníferas de Salamanca

Desde 1957 se conoce la existencia en el Oeste de la provincia de Salamanca de pizarras impregnadas por minerales secundarios de uranio (ARRIBAS, 1970). Sin embargo, el origen de estas mineralizaciones, hasta entonces desconocidas en la metalogenia de dicho elemento, permaneció incierto hasta que, a principios de 1959, se encontraron las primeras manifestaciones con pechblenda.

Los trabajos de investigación geológica y minera llevados a cabo por la JEN y últimamente por ENUSA han permitido obtener datos de gran interés sobre las características de este nuevo tipo metalogénico que se repite con las mismas características en otras regiones españolas —Ceclavín,

Acebuche y Albalá, en Cáceres, y al sur de Don Benito, en Badajoz—, y portuguesas —Nisa, Cunha Baixa, y Nuestra Señora das Fontes— de la Meseta, y que durante muchos años dio la impresión de ser exclusivo de la Península Ibérica. Sin embargo, al descubrirse mineralizaciones análogas, aunque de diferente edad, pero igualmente muy importantes, en la región de Spokane, en el estado de Washington (EE.UU), se ha visto la gran importancia económica que tiene este tipo metalogénico, y por ello existe actualmente en todo el mundo un inusitado interés por conocer sus condiciones de formación y los métodos más apropiados para descubrir y valorar sus yacimientos.

Por ahora, aparte los yacimientos de «El Lobo» y «El Pedregal», situados 15 km. al sur de Don Benito (Badajoz), los principales yacimientos de uranio en pizarras se encuentran al oeste de la provincia de Salamanca, en la zona comprendida entre Lumbrales y Ciudad Rodrigo y la frontera portuguesa y Villavieja de Yeltes (Fig. I.2.M.8).

Todos ellos participan de las mismas características geológicas, a saber:

- estar localizados en pizarras paleozoicas epimetamórficas que rodean a leucogranitos alcalinos de dos micas o moscovíticos;
- encontrarse casi siempre dentro de las zonas de contacto, o bien a corta distancia, vertical u horizontal, de las rocas graníticas;
- poseer mineralizaciones análogas formadas sobre estructuras geológicas semejantes.

En Salamanca, los dos núcleos principales se encuentran en la zona de Saelices-Alameda de Gardón (Fig. I.2.M.9) y Villavieja de Yeltes (Fig. I.2.M.10), situadas, respectivamente, 10 km. al NO y 30 km. al NE de Ciudad Rodrigo.

Las rocas encajantes son esquistos epimetamórficos —micacitas cloríticas y sericíticas, pizarras ampelíticas, cuarcitas, microconglomerados y calcoesquistos— atribuidos al Cámbrico o al Precámbrico Superior. En muchos casos, dada la proximidad de las granodioritas y cuarzomonzonitas de dos micas, los esquistos han sido metamorfizados por contacto y dado lugar a la aparición de cornubianitas y pizarras mosqueadas.

De las transformaciones sufridas por las rocas encajantes, hay unos procesos locales de cloritización, silicificación y arcillización que están en relación directa con el emplazamiento de los minerales de uranio. Otros procesos de sericitización, cloritización y turmalinización, que afectan a las rocas paleozoicas en grandes extensiones, tiene carácter regional y preceden a la venida uranífera.

Las mineralizaciones primarias son de tipo hidrotermal y corresponden a la paragénesis cuarzo-uranio-sulfuros de hierro (q.U-Fe) definida por ARRIBAS (1978). Ella se deposita en forma de filoncillos, cuya anchura varía entre 0,5 y 20 mm., que atraviesan las pizarras sin direcciones definidas o formando haces muy irregulares, si bien, en conjunto, las zonas mineralizadas suelen coincidir con zonas de tectonización. Los minerales primarios de uranio son pechblenda y coffinita, acompañados por sulfuros de hierro —pirita, marcasita y melnicovita—, galena, cuarzo —generalmente jasperoideo y hematítico— y carbonatos, así como trazas de esfalerita, calcopirita y fluorita. Entre los minerales supergénicos, que son muy abundantes en la zona de oxidación, los más frecuentes son gummitas, autunita, uranotilo, saleita, kasolita, sabugalita, renardita, torbernita, iantinita y uranopilita.

Desde el punto de vista genético, el carácter más significativo de este tipo de yacimientos es el ambiente débilmente metamórfico que rodea a los plutones graníticos. Por ello, a falta de datos más precisos y teniendo en cuenta que los yacimientos españoles y portugueses se encuentran en estructuras que pueden ser tanto alpinas como hercínicas, cabe preguntarse si los yacimientos de las pizarras no representan un aspecto extratolítico de los mismos procesos genéticos que condujeron a la concentración del uranio en los granitos hercínicos.

De cualquier forma, aparte de que las paragénesis filonianas son muy parecidas en ambos casos, el problema se presenta con iguales características en los yacimientos de los EE.UU, pues si bien aquí las rocas encajantes son precámbricas, los granitos son alpinos, y las mineralizaciones, extraordinariamente parecidas a las de la Península Ibérica, se distribuyen claramente alrededor de los granitos.

Lo importante, además, es que muchas de estas mineralizaciones no afloran, lo que abre grandes posibilidades y plantea un desafío a los prospectores de uranio para encontrar nuevos yacimientos de una substancia que, hoy por hoy, es absolutamente imprescindible para el desarrollo de nuestro país.

En este sentido, y por la importancia que ello tiene para la economía española, dado el precio actual del uranio, conviene destacar que el tratamiento de los minerales de Saelices el Chico, iniciado por ENUSA en 1975 con una planta de lixiviación estática, produjo en 1977 110 t. de uranio. Este concentrado se obtuvo a partir de 250.000 t. de mineral oxidado, el único que se extrae actualmente mientras se preparan las labores a cielo abierto para explotar los yacimientos FE 1 y FE 3 y en tanto se construye la nueva planta de tratamiento.

2.2. MINERALES METÁLICOS

En este apartado se incluyen los minerales a partir de los cuales se pueden obtener elementos metálicos, excepto los de uranio, que por las razones apuntadas anteriormente se han estudiado con los productos energéticos.

De los otros elementos, son muy pocos los que se producen en cantidades significativas en la región Castellano-Leonesa. Sin embargo, teniendo en cuenta que son muy grandes las posibilidades de ampliar los yacimientos existentes, o bien de encontrar otros nuevos, y que se trata de minerales de un gran valor estratégico, se ha resumido aquí el estado actual de las investigaciones que diversos organismos oficiales y compañías mineras están realizando sobre ellos.

Los enumerados en este apartado son los siguientes:

- A) Wolframio.
- B) Estaño.
- C) Manganeso.
- D) Plomo.
- E) Hierro.

A) Wolframio

a) Generalidades

El wolframio es, por su elevado punto de fusión, un metal de gran valor estratégico, ya que tiene importantes aplicaciones en la fabricación de materiales que necesitan resistir altas temperaturas, entre ellos, algunos destinados a la industria nuclear. Por esta razón, se ha venido utilizando tradicionalmente en la fabricación de material de alumbrado y otras aplicaciones eléctricas, así como en la de instrumentos que requieren resistencia al choque, por ejemplo, herramientas de corte, barrenos y material bélico. Esto se debe a otras propiedades también características del tungsteno, concretamente la extremada dureza y resistencia al desgaste de sus carburos, la capacidad del metal y sus aleaciones para conservar la dureza a altas temperaturas, y al alto punto de fusión, baja tensión de vapor y favorables propiedades eléctricas y termoiónicas del metal puro.

El WO_3 , forma química que se utiliza para expresar el contenido en metal de los concentrados de sus minerales, puede estar en forma de *Scheelita*, CaWO_4 y *Wolframita*, (FeMnWO_4) , por citar únicamente los dos principales minerales de tungsteno. Los concentrados de las minas españolas se venden, en su mayoría, en forma de scheelita.

Por lo que se refiere al consumo, una gran parte de los minerales españoles de wolframio se destina a la exportación, cosa que parece inevitable en tanto no se alcance un mayor nivel industrial en nuestro país. Los principales consumidores españoles se encuentran casi todos en el País Vasco — Merladet. Laborde Hemanos, P. Echevarría—, con la excepción de Ferroaleaciones Españolas que tiene la factoría en Medina del Campo (Valladolid).

Hay que destacar, sin embargo, que el consumo de wolframio en España es menor del que cabría de esperar dado su desarrollo industrial. Ello se debe a la importación, quizá excesiva, de aceros especiales, lo que impide la fabricación de éstos en nuestro país. Por esta razón, aunque exista un consumo potencial grande y en expansión, los mineros piensan preferentemente en la exportación de sus minerales (PNEM, 1971, tomo 21, y PNIM, 1971, tomo 15).

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

En el momento actual, las principales minas españolas de wolframio se encuentran en Galicia —Monteneme, Santa Comba y San Finx—, Salamanca —Merladet y Morille— y Badajoz —La Parrilla—, todas ellas en producción (Fig. I.2.M.11). Hay que señalar, no obstante, que a excepción de La Parrilla, cuya producción se acerca a la del Coto Minero Merladet, situado en las proximidades de Barruecopardo, es éste el mayor yacimiento español de wolframio, con lo que Salamanca, que tiene además otros yacimientos de menor importancia en la zona de Morille, sitúa a Castilla en cabeza de las regiones españolas en cuanto a la producción de tungsteno se refiere. Y esto no sólo en lo que concierne a la producción actual, sino también a las reservas, ya que en Salamanca existen posibilidades de encontrar nuevos y grandes yacimientos.

Este es el motivo por el que en estos últimos años, tanto la zona de Barruecopardo como la de Morille han sido objeto de planes de investigación llevados a cabo por el Instituto Geológico y Minero de España en colaboración con el Departamento de Geología y Mineralogía de la Universidad de Salamanca.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Los indicios y yacimientos de wolframio de mayor interés se encuentran todos en el zócalo paleozoico, y dentro de él, en la provincia de Salamanca (Fig. I.2.M.12).

De acuerdo con la naturaleza de las rocas encajantes, las mineralizaciones de tungsteno se encuentran en dos grandes grupos de rocas: ígneas y metamórficas. Del primer grupo, el mejor ejemplo es el gran yacimiento de Barruecopardo, mientras que del segundo grupo lo son las pequeñas y dispersas explotaciones de la zona comprendida entre Morille y Martínamor, las que, aún teniendo en cuenta su reducido tamaño, son las más importantes de su clase en España y encierran por ello un gran interés potencial.

Dada la importancia que, para el futuro, tiene la investigación de estos dos tipos de yacimientos en la zona oriental de la región castellana, a continuación se hace un resumen de las características geológicas de ambas mineralizaciones que permita comprender mejor su gran valor económico y técnico. En realidad, ambos constituyen ejemplos metalogénicos a escala mundial, y prueba de ellos es el gran interés que su estudio ha suscitado no sólo entre organismos oficiales y compañías mineras españolas —por ejemplo, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras (ENADIMSA), Compañía Minero Metalúrgica de Peñarroya-España, Minas de Almagrera, S. A., y Río Tinto-Patiño, S. A., sino también extranjeras, entre otras, Prospecciones y Participaciones, S. A. (PROPASA), American Smelting and Refining Company (ASARCO) y Phelps-Dodge Corp.

d) *El yacimiento de Barruecopardo*

Está situado en el extremo noroeste de la provincia de Salamanca, en una zona donde los numerosos indicios mineralizados con tungsteno están repartidos sobre un área que, en conjunto, mide cerca de 9 km² (ARRIBAS, 1979a).

Generalidades

Esta parte de la Meseta Ibérica está formada fundamentalmente por dos grandes grupos de rocas cristalinas: granitoides, y rocas sedimentarias más o menos metamorfozadas, atribuidas al Cámbrico y al Ordovícico inferior, si bien su edad no está bien establecida. Estas rocas están constituidas por cuarcitas grises, compactas, y con abundantes intercalaciones pelíticas, por debajo de las cuales se encuentra una serie muy monótona de esquistos oscuros de edad anteordovícica.

El grado de metamorfismo es muy variable. En general, pertenecen a la zona de la biotita, pero pueden haber sufrido transformaciones más profundas de acuerdo con su proximidad a los granitos. Por ello, alrededor de las rocas plutónicas se han desarrollado aureolas de contacto pertenecientes a las zonas de la andalucita-cordierita y silimanita-feldespato potásico, cuyas isogradas son más o menos paralelas al contacto con las rocas plutónicas.

En la base de esta serie metamórfica, 13 km. al este de Barruecopardo, se encuentra un complejo muy metamórfico, formado por neises bandeados de grano fino y neises glandulares que, por consideraciones tectónicas y por comparación con rocas semejantes existentes en el noroeste de España, se han atribuido al Precámbrico.

Las rocas graníticas ocupan zonas muy extensas en la región, y pertenecen a cuatro tipos principales:

1. Granitoides calcoalcalinos precoces.
2. Granitos de dos micas de tendencia alcalina.
3. Granitos calcoalcalinos tardíos con biotita (\pm moscovita).
4. Diques de granitos calcoalcalinos porfiroides.

Los granitos 1 son anteriores a la fase principal de las deformaciones hercínicas, la cual tuvo lugar en el Estefaniense medio al tiempo que se producía el emplazamiento de los granitos de tendencia alcalina 2. Los granitos tardíos 2 y 4 son claramente postorogénicos y probablemente autunienses.

Después del Ordoviciense, el basamento de la región de Barruecopardo ha sido afectado por tres fases principales de deformación, de edad hercínica.

La primera fase, que es la más importante, está representada por pliegues isoclinales de dirección este-oeste y escala meso a microscópica. Estos pliegues han dado lugar a una esquistosidad de flujo en las zonas con alto grado de metamorfismo, la cual ha sido deformada por la tercera fase tectónica. La segunda fase es la menos importante, y ha sido detectada únicamente en algunos puntos. La tercera fase está muy desarrollada en todo el oeste de la Península Ibérica, y ha producido grandes pliegues asimétricos, de plano axial subvertical, ligeramente vergentes al NE, que son visibles a escala macroscópica.

Posteriormente, la intensa tectónica de fractura que afectó al zócalo hercínico está representada en la región de Barruecopardo por grandes fracturas y bandas de rocas cataclásticas y milonitas de dirección NNE, y ocasionalmente por la introducción de grandes diques de cuarzo, apfitas y pegmatitas.

La mineralización

Los minerales de tungsteno se encuentran al sur —Coto Minero Merladet y Valdegallegos— y suroeste —Las Cabritas— de Barruecopardo (Fig. I.2.M.13), y están localizados íntegramente dentro de los granitos alóctonos de dos micas y tendencia alcalina del tipo 2.

La roca encajante es un leucogranito de grano medio a grueso, a veces porfiroide, en el que el único mineral férrico es la biotita. Localmente puede presentar megacristales hipidiomorfos de feldespato potásico, y la moscovita, siempre presente, aparece normalmente en cantidad superior a la biotita.

Los granitos de la facies IV, que son los que contienen la mineralización, aparecen fuertemente fracturados según tres sistemas de diaclasas correspondientes al modelo de Cloos. La mayor parte de los filones de scheelita se encuentran en las diaclasas transversales (Q) de dirección N 20° E, las cuales son subverticales y paralelas al eje de alargamiento del granito mineralizado. Tanto las diaclasas de distensión como las longitudinales (L) y las primarias (S), paralelas al flujo, se han producido durante el emplazamiento del granito y no como consecuencia de esfuerzos tectónicos regionales, tardihercínicos a alpinos.

Los granitos mineralizados, cuya foliación es claramente visible en la parte alta del batolito, contienen diferenciaciones pegmoaplíticas y bandas de microgranitos porfíricos que son más o menos paralelos al techo de la intrusión. Todas estas rocas están generalmente atravesadas por el haz de filones que ocupa las diaclasas transversales y que, con dirección N 15° - 20° E y buzamiento de 80° al este, contiene la mayor parte de la mineralización. La potencia de estos filones mineralizados varía generalmente entre 0,5 y 15 cm., aunque en algunas ocasiones pueden ser superior a 0,5 m. Este es el caso del llamado filón «grande» o «maestro» que, con cerca de 1.400 m. de longitud, puede alcanzar en algunos puntos más de 3 m. de potencia.

La paragénesis de Barruecopardo es bastante sencilla y pertenece a la asociación (q,W): cuarzo-scheelita-wolframita (ARRIBAS, 1978). Está formada esencialmente por scheelita —que es el más

importante mineral de wolframio—, wolframita, pirita, y muy abundante arsenopirita. En cantidades menores, aparecen calcopirita, bismutina, emplektita, molibdenita, casiterita, y trazas de oro. Como ganga, los minerales que normalmente acompañan al cuarzo son apatito, fluorita, moscovita, turmalina (chorlo), topacio, circón y feldespatos potásicos. Hay que destacar que una gran parte de la wolframita es de la variedad reinita, la cual se ha formado a partir de la scheelita en las partes altas del yacimiento. Entre los minerales secundarios, la clorita, escorodita y tungstita son los más frecuentes, si bien la primera se formó fundamentalmente por acciones hidrotermales tardías.

De los estudios petrográficos y geoquímicos efectuados en un área de, aproximadamente, 50 km², alrededor del yacimiento de Barruecopardo, se pueden sacar las siguientes conclusiones genéticas:

1. El leucogranito de Barruecopardo empezó a cristalizar a presiones altas, probablemente entre 4 y 5 kb, y a más de 700°C de temperatura. Posteriormente, cuando ya había cristalizado la mayor parte de los minerales esenciales, excepto el feldespatos potásico y parte del cuarzo, el granito ascendió rápidamente para terminar su emplazamiento a temperaturas próximas a los 700°C y presiones comprendidas entre 2 y 3 kb, es decir, a unos 6 km. de profundidad.

Con respecto a las condiciones iniciales, ello significa que tuvo lugar un brusco descenso de la presión pero sin que existiera una variación significativa de la temperatura. Estas condiciones físicas dieron lugar al desarrollo de un metamorfismo de contacto en la zona de la andalucita, y a la brusca liberalización del agua y los volátiles, lo cual condujo, primero, a la microclinización de las plagioclasas y la cloritización de la biotita, y posteriormente al emplazamiento de los filones de cuarzo con scheelita.

2. Durante la etapa principal de la consolidación magmática, la fase fluida estaba enriquecida, entre otros elementos, en W y K, ya que la mayor parte del feldespatos potásico es de formación tardía. Por ello, cuando este mineral empezó a cristalizar durante las últimas fases de la etapa magmática, reemplazando a las plagioclasas y liberando el Ca y parte del Na contenido en ellas, la fase fluida era relativamente básica, con lo que los complejos del tipo A_m B_n P (A = O, Fl, Cl, S; B = W), que se supone son la forma de transporte del W, estaban estabilizados y en solución.

Posteriormente, cuando estos fluidos ascendieron por las fracturas del granito parcialmente consolidado, microclinizado y albitizado, disminuyeron la presión y la temperatura, los complejos se desestabilizaron y liberaron, al tiempo que el agua, los componentes ácidos. Con el aumento de la acidez, ya en la fase deutérica, se produjo la greisenización de las zonas apicales, los fluidos supercríticos pasaron entonces a hidrotermales, y el Ca liberado de las plagioclasas se unió al W de los complejos oxigenados —disoluciones neutras y alcalinas— y sulfurados —disoluciones alcalinas—, o al de los iso y heterocomplejos —disoluciones ácidas— que, desestabilizados por la hidrólisis, liberaron el W y permitieron se formaran la scheelita y, en menor proporción, la wolframita y reinita.

Geología económica

El haz de filones y el granito encajante de Barruecopardo se explotan conjuntamente a cielo abierto.

La corta del Coto Minero Merladet tiene actualmente 700 m. de longitud, 100 m. de anchura media y otros 100 de profundidad, pero el área mineralizada se ensancha hacia el norte y extiende hasta las inmediaciones del pueblo, por lo que, en conjunto, puede llegar a medir casi 3 km. de longitud. Hacia el sur, el área mineralizada se acuña, y desaparece casi por completo al sur de la escombrera de gruesos, donde el granito pasa a otra facies más biotítica.

El todo-uno se tritura a menos de 15 mm. y se trata en cribones para, una vez molido, concentrarlo en mesas de sacudidas. El producto así obtenido se tuesta para eliminar, primero, y recuperar, después, los óxidos de arsénico —Barruecopardo es el primer productor español de este elemento—, sometiendo finalmente a una separación magnética para eliminar los óxidos de hierro.

La capacidad de tratamiento del todo-uno es de unas 3.000 t/día, con una ley media de 1.000 gr./t. de scheelita. Sin embargo, la recuperación por gravedad es únicamente de 400 gr./t., con unos concentrados del 74% de WO₃. Por ello, para poder recuperar la scheelita almacenada en la escombrera de finos, se tiene el proyecto de construir una planta de flotación.

Como resumen de lo anterior, se puede afirmar:

- a) El área mineralizada del «Coto Minero Merladet, S. A.» tiene más de 2 km. de longitud y se extiende desde el sur del pueblo de Barruecopardo, donde tiene una anchura de casi 100 m., hasta las escombreras actuales, donde se acuña hasta prácticamente desaparecer.
- b) Por las características del yacimiento y por la composición de los granitos existentes en la zona, las posibilidades de encontrar en ella otras mineralizaciones análogas a la de Barruecopardo son muy grandes. Por ello, la gran reserva de wolframio que constituye en sí el yacimiento actual puede verse grandemente ampliada y convertir a la zona no sólo en la mayor reserva de España sino también en una fuente de tungsteno de importancia mundial.

e) *Los indicios y yacimientos de la zona de Morille*

El área donde se encuentran diseminados los indicios de wolframio tiene una extensión de aproximadamente 300 km², y está situada al Sur y a unos 15 km. de la ciudad de Salamanca (ARRIBAS, 1979b).

Generalidades

Desde el punto de vista geotectónico, ocupa la zona el núcleo de una gran estructura de edad hercínica denominada *antiforma de Martinamor*, la cual se extiende entre el río Tormes, al Sur de Alba, y Vecinos, a lo largo de unos 20 km. en dirección ONO. El domo anticlinal, formado por materiales cámbricos y precámbricos, está comprendido entre los sinclinales de Salamanca, al N, y Las Veguillas, al S., constituidos por formaciones ordovícicas y silúricas. Los granitos afloran principalmente al Oeste de la zona, es decir, en la mitad oriental de la antiforma, cuyos bordes septentrional y oriental están delimitados por los materiales detríticos que ocupan las cuencas terciarias de Ciudad Rodrigo - Salamanca y del Tormes, respectivamente. Los sedimentos terciarios cubren igualmente el zócalo hercínico en la parte central de la zona, justo al Este del pueblo de Morille (Fig. I.2.M.14).

Aparte los recubrimientos cuaternarios, que tienen una importancia muy reducida, la zona está formada fundamentalmente por dos tipos de rocas: paleozoicas y terciarias. Las primeras, que son con mucho las más importantes, se agrupan en dos unidades: la inferior, llamada Serie de Morille, y la superior, de Aldeatejada, cuyas edades han sido atribuidas al Cámbrico inferior y Precámbrico superior respectivamente. Los principales caracteres petrográficos de las dos series son los siguientes.

Serie de Morille. Es la más importante, y constituye la casi totalidad de la antiforma de Martinamor. Teniendo en cuenta que el grado de metamorfismo es el mismo para toda la Serie, se pueden distinguir en ella tres niveles de acuerdo con su composición litológica.

El nivel inferior, correspondiente a la *Formación Bernoy*, comprende los materiales más antiguos, formados por esquistos grafiticos, micacitas, cuarcitas, anfíbolitas y rocas sílico-carbonatadas, así como esquistos y neises con anfíbol, diópsido, estaurólita, silimanita y granate. Este nivel termina con unas cuarcitas, a veces conglomeráticas, cuya potencia puede alcanzar 15 m. y se distingue en el terreno por ocupar el núcleo de la antiforma. Por esta razón, la esquistosidad visible (S₂) está horizontal o presenta buzamientos muy suaves, y sus materiales han sufrido el mayor grado de metamorfismo de la zona.

El nivel medio o *Formación Monterrubio* está constituido por conglomerados feldespáticos intercalados en cuarcitas y esquistos con feldespato y anfíbol. Estos microconglomerados han sido llamados *porfiroides* por su origen parcial o totalmente volcánico. En efecto, ellos contienen abundantes fragmentos de cuarzo y feldespatos comparables a los de las rocas riódacíticas que han sido descritas en numerosos lugares de la Meseta Ibérica.

El nivel superior o *Formación Cabezo* está formado esencialmente por cuarcitas y micacitas con biotita en las que aparecen intercalados algunos esquistos anfibólicos.

Serie de Aldeatejada. En los flancos Norte y Sur de la antiforma de Martinamor, a partir de las bandas de cuarcitas que marcan el techo de la Serie de Morille, ésta aparece cubierta en concordancia por las formaciones esencialmente pelíticas de la Serie de Aldeatejada, la cual está constituida por clorito-esquistos y sericito-esquistos en los que existen intercalaciones de cuarcitas y *porfiroides*.

Desde el punto de vista tectónico, la zona presenta una gran complicación. Sin embargo, el conocimiento detallado de los fenómenos tectónicos, íntimamente unidos al desarrollo de los procesos

metamórficos, es indispensable para comprender la meralogenia de los diferentes tipos de yacimientos e indicios de wolframio y estaño que existen en la zona, y consecuentemente para llevar a cabo su exploración y valoración.

La primera fase dio lugar a pliegues isoclinales de plano axial subvertical que llevan asociados una esquistosidad de flujo (S_1), apenas visible, pues ha sido borrada por la segunda fase de deformación. Esta fase fue seguida y acompañada por un metamorfismo de la facies de las anfibolitas almandínicas con piroxeno.

La segunda fase fue tan intensa como la anterior y dio lugar a pliegues isoclinales de dirección N 90° E a N 110° E, de plano axial subhorizontal. La esquistosidad de flujo (S_2) dominante en la zona pertenece a esta fase, lo mismo que el boudinage de las capas más competentes, especialmente los niveles calcosilicatados, los cuales aparecen estirados y aislados en las rocas pelíticas. Esta fase ha ido acompañada por un metamorfismo de la facies de los *esquistos verdes* que dio lugar al metamorfismo retrógrado de alguno de los minerales producidos en la fase anterior.

La tercera fase tuvo casi la misma dirección que la anterior y dio lugar a una crenulación cuyo plano axial buza 75° al NE. La aparición de la antiforma de Martinamor y la intrusión de los granitos de este nombre están relacionados con el desarrollo de esta fase.

Por lo que se refiere a las rocas ígneas, estas corresponden a tres tipos: el *ortoneis de San Pelayo*, que corresponde a un granito de dos micas fuertemente orientado; los *granitos de Martinamor*, muy ricos en granates y turmalina, que forman un enjambre de diques y apuntamientos en la mitad oriental de la antiforma; y el *granito de Santa Genoveva*, que contiene filones de cuarzo y scheelita comparables a los del yacimiento de Barruecopardo.

Las mineralizaciones

Los indicios y yacimientos de tungsteno, concretamente scheelita, de la zona de Morille corresponden a dos tipos paragenéticos principales: uno, de caracteres estratiformes, y otro, claramente filoniano. Corresponden a las paragénesis (sk.W) y (q.W-B) definidas por ARRIBAS (1978).

Por lo que se refiere a los yacimientos estratiformes, se pueden distinguir dos tipos que están generalmente asociados sobre el terreno. El primero está constituido por una roca de grano fino que corresponde a una cuarcita feldespática con anfíboles de la serie actinolita-tremolita, granates, zoisita, epidota, biotita y moscovita, y más raramente trazas de pirita y pirrotina. Estos niveles han sido frecuentemente *boudinados*, y la scheelita, cuya distribución es muy irregular, y los granates aparecen corroídos por el cuarzo, y aplastados a veces según la dirección de esquistoidad (S_2). Entre los minerales accesorios, el apatito puede ser localmente muy abundante.

El segundo tipo corresponde a yacimientos donde la scheelita forma niveles constituidos exclusivamente por plagioclasas y biotita, acompañados por rutilo, turmalina, pirita, pirrotina, arsenopirita e ilmenita, que también han sido ocasionalmente *boudinados*.

Por último, el tercer tipo está representado por los *skarnoides*, niveles calcosilicatados de color verdoso y grano medio a grueso, compuestos esencialmente de calcita; plagioclasas, más o menos sericitizadas y saussuritizadas; dióxido, frecuentemente uralitizado; grosularia e idocrasa, transformadas parcialmente en clinzoisita, zoisita, epidota y cuarzo; y anfíboles, pertenecientes tanto a la variedad fibrosa, tremolita-actinolita como a la hornblenda pargasítica que forma la zona externa de los niveles calcosilicatados. Como minerales accesorios, el apatito, esfena — algunas veces muy rica en estaño, de la variedad malayaita —, ilmenita, piedmontita, y ocasionalmente escapolita, son los más importantes. La moscovita y la clorita están siempre presentes, siendo esta última un producto de alteración del dióxido y los granates, los cuales suelen ser anisótropos. Finalmente, la scheelita, la cual puede estar diseminada en el núcleo de los niveles calcosilicatados o dispuesta alrededor de los granates. En algunas raras ocasiones, la scheelita es de la variedad powellita.

Hay que señalar, finalmente, que algunos de los yacimientos de scheelita de la antiforma de Martinamor — «Explotada», «Claudina», «Anarbella» — corresponden a filones de cuarzo que atraviesan los yacimientos estratiformes descritos en el apartado anterior, especialmente los niveles calcosilicatados — skarnoides y cuarcitas calcáreas —, con las que siempre están relacionados.

Las fracturas que ocupan los filones mineralizados — a veces con casiterita, como es el caso de la Mina «Carmen» — son generalmente normales al plano de esquistosidad (S_2), y coinciden con dos

direcciones conjugadas, de dirección aproximada N-S y E-O, que son o menos paralelas y normales a los pliegues de la tercera fase tectónica.

La paragénesis de este tipo de yacimientos está constituida casi exclusivamente por cuarzo, scheelita, arsenopirita y turmalina, la cual puede ser chorlo o bien una variedad fibrosa de dravita, esta última especialmente cuando los filones atraviesan niveles de rocas carbonatadas que son más o menos magnesianas.

En cualquier caso, es necesario destacar que, entre los yacimientos filonianos y los estratiformes hay una relación evidente, ya que las mineralizaciones de tipo filoniano sólo existen cuando los filones de cuarzo han atravesado niveles de rocas metamórficas que contenían ya mineralizaciones de tipo estratiforme. Por otro lado, las paragénesis filonianas se hacen exclusivamente cuarzosas cuando los filones penetran en las rocas pelíticas que encajan los niveles mineralizados, lo que prueba que la scheelita de los filones —la cual puede llegar a formar concentraciones de hasta 30 kg. de peso— se ha formado con el tungsteno removilizado a partir de dichos niveles. Además como, dentro ya del filón, los cristales de scheelita se forman cuando éste atraviesa las capas calcosilicatadas, se puede afirmar que el calcio necesario para su formación procede también de ellos.

Geología económica

Aunque la minería se ha desarrollado esporádicamente de acuerdo con el precio de la scheelita, varios indicios de tungsteno de la antiforma de Martinamor han sido objeto de pequeños trabajos de explotación, de forma más o menos continua, en la zona comprendida entre Morille y Tornadizos. Sin embargo, dado el reducido tamaño y la errática distribución de las mineralizaciones, las explotaciones han tenido casi siempre un carácter familiar y artesanal.

Entre los *yacimientos filonianos*, los trabajos más importantes se han llevado a cabo en las minas «Explotada», en Tornadizos, «Grupo Anarbellas», en S. Pedro de Rozados, y «Claudina», en Morille, las cuales han llegado a alcanzar varias decenas de metros de profundidad. Entre las *mineralizaciones estratiformes*, casi todas explotadas a cielo abierto, las de «Mundaca» y «Alegria», en Morille, «Barcialejo», en S. Tomé de Rozados, y «Mimosa» y «Grupo San Pedro», en Terrubias, han sido las más interesantes. En efecto, casi todas ellas han producido concentrados de scheelita a partir de menas con una ley medio del 0,8 % de WO_3 .

Por todo ello, es de destacar el enorme interés del área, la cual constituye un recurso de gran valor estratégico, cuyas posibilidades y potencial minero han sido confirmadas plenamente por el estudio que el Instituto Geológico y Minero de España está llevando a cabo en colaboración con la Empresa Nacional Adaro y el Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca.

B) *Estaño*

a) *Generalidades*

El estaño es uno de los metales que tiene mayores aplicaciones en la industria moderna. Para la fabricación del bronce, ha sido utilizado desde hace más de 5.000 años, pero actualmente, debido a sus propiedades, su empleo es imprescindible en la fabricación de aleaciones para antifricción, metales de imprenta y soldaduras, y como revestimiento de la hojalata. Esta última, de uso específico y extensivo en el envasado de conservas alimenticias y aceites orgánicos, ya que la chapa de aluminio sale todavía muy cara y es prohibitiva, por ahora, para ciertos usos.

La progresiva elevación de su precio como consecuencia de su, cada vez, mayor consumo, ha inducido a buscar su sustitución por otros metales, caso del aluminio; no obstante, se considera que su demanda seguirá en aumento durante los próximos años. Por ahora, en la producción mundial, el estaño ocupa el quinto lugar entre los metales no férreos, detrás del aluminio, cobre, plomo y cinc.

El único mineral de estaño de interés económico es la *casiterita* (SnO_2), si bien algo se recupera de algunos sulfuros complejos, tales como la *estannina*, *cilindrita* y *tealita*. No obstante, ninguno de estos minerales existe o tiene importancia en España.

Por lo que se refiere al consumo nacional, el del estaño metal sigue un ritmo creciente, lo que da lugar a importaciones cada vez mayores por insuficiencia de la producción de nuestro país (PNEM, 1971, tomo 21, y PNIM, 1971, tomo 15).

Los principales consumidores de mineral son exclusivamente los fundidores. Dos de ellos, Ferroaleaciones Españolas, S. A., de Medina del Campo (Valladolid) y Metalúrgica del Agueda, S. A., de Villaralbo (Zamora), están en Castilla. Los otros dos, Metalúrgica del Estaño, S. A. (MESA) y Metalurgia del Noroeste, S. A. (MENSA), se encuentran en Villaverde (Madrid) y Villagarcía de Arosa (Pontevedra), respectivamente.

En cualquier caso, hay que indicar que la producción nacional de minerales de estaño no está en consonancia con la importancia de las reservas españolas, ya que sería posible incrementar la producción con una explotación más adecuada de los yacimientos. Sin embargo, no parece posible que, en el futuro, se pueda llegar a efectuar exportaciones, dado que, por ahora, nuestro país es francamente deficitario.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Actualmente, los principales yacimientos españoles de estaño están en Galicia —Penouta, Santa Comba, San Finx y Monteneme—, Castilla —Calabor, Villadepera, Arcillera, Fregeneda, Calzada y Golpejas—, y Extremadura —Teba, Santa María, El Trasquilón y la Parrilla—, todos ellos en producción (Fig. I.2.M.15). Hay que destacar, sin embargo, que en alguna de estas explotaciones, así como en otras más pequeñas, de tipo familiar y artesanal, la dirección técnica es inadecuada, los métodos de explotación son deficientes, y las disponibilidades económicas de los mineros son, en general, insuficientes para llevar a cabo una operación rentable.

Las reservas nacionales de estaño son importantes en Galicia, Castilla —concretamente Zamora y Salamanca—, Extremadura y Córdoba, pues las de la Sierra de Cartagena, por sus características geológicas, ni son ni parece puedan tener interés.

Por lo que se refiere a los yacimientos, reservas y recursos de estaño de la región Castellano-Leonesa, aunque claramente inferiores en posibilidades a los de Galicia, tienen sin embargo tanta importancia como los extremeños, y si son investigados adecuadamente, pueden ser susceptibles de alcanzar un nivel significativo en el inventario minero de nuestro país.

Por esta razón, durante los últimos años, tanto el Instituto Geológico y Minero de España como numerosas compañías, españolas y extranjeras, están realizando investigaciones en la región, muchas de ellas en colaboración con la Universidad de Salamanca.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Los indicios y yacimientos de estaño de mayor interés se encuentran, como los de wolframio, en el zócalo paleozoico de las provincias de Zamora y Salamanca —tanto en ciertos tipos de granitos como en los diques de aplitas y pegmatitas, y en los filones con ellos asociados—, así como en algunos depósitos aluviales y placeres.

Por lo que se refiere a los yacimientos relacionados con los *granitos*, el criadero más importante es el de Golpejas, en Salamanca, propiedad de Minera del Duero, S. A., análogo al que dio lugar a las explotaciones de Losacio, en Zamora, y a otros más pequeños que existen en esta misma provincia. De los yacimientos *filonianos*, los más interesantes están en la provincia de Zamora (Fig. I.2.M.16 —concretamente, Dorinda, de Francisco Folgado, S. A., en Carbajosa de Alba; Manolita, de la Compañía de Estaños Ibéricos, en Calabor; y Santa Elisa, de E. Calzada, en Arcillera—, si bien, en Salamanca (Fig. I.2.M.17) existen diques de *pegmatitas* y cuarzo que están o han estado hasta hace poco tiempo en explotación, por ejemplo, los de Fregeneda —la mina Feli, de Angel Luengo, S. A.— y Lumbrales. Finalmente, de los yacimientos *aluviales*, los más interesantes se encuentran en la provincia de Salamanca, especialmente el de El Cubito, de Interminas, S. A., situado al sur de Calzada de Don Diego, y los de Navasfrías y Puebla de Azaba, los cuales tuvieron en su día una cierta importancia.

Debido a las estrechas relaciones geológicas existentes entre los yacimientos de estaño y wolframio, el Instituto Geológico y Minero de España (VAZQUEZ 1978) y las compañías nacionales y extranjeras que se han citado en el apartado anterior, correspondiente al wolframio, han coincidido en su interés por prospectar y estudiar los yacimientos reales y potenciales de estaño que puedan existir en la región.

Gran parte de estas investigaciones ha sido realizada en colaboración con el Departamento de Geología y Minerología de la Universidad de Salamanca (ARRIBAS, 1978), por lo que a continuación se resumen los resultados obtenidos en la definición de los tres tipos metalogénicos principales —granitos, filones, y aluviones—, para que así se pueda comprender mejor cuales son las posibilidades de aumentar la producción y encontrar nuevos yacimientos de estaño.

d) *Mineralizaciones intragraníticas*

Dentro de la gama de rocas graníticas con las que se asocian los yacimientos de estaño, se diferencian dos grandes series: la alcalina y la calcoalcalina.

La *serie alcalina* está constituida por *granitos-s* originados por fenómenos de anatexia relacionados con el metamorfismo hercínico, a profundidades moderadas y temperaturas relativamente bajas, encontrándose todos los tránsitos desde la migmatitas y granitos anatéticos, autóctonos, hasta los leucogranitos de dos micas, alóctonos, acompañados por un amplio cortejo de diques de microgranitos, aplitas, pegmatitas y cuarzo.

La *serie calcoalcalina* está formada por *granitos-i*, originados en zonas más profundas de la corteza, a temperatura elevada, y emplazados en zonas de fractura o debilidad desarrolladas en épocas de distensión. La serie contiene gabros, granodioritas y cuarzodioritas —anfíbólicas y biotíticas acompañadas por un escaso cortejo de rocas filonianas.

En general, las mineralizaciones de estaño del Oeste de España, y las asociadas de litio, niobio y tántalo, están relacionadas con macizos graníticos de la serie alcalina, los cuales son netamente discordantes con las rocas encajantes. Su contenido en oligoelementos —F, Sn, Li, Be— es alto, y crece con la evolución hacia los polos más sódicos. Por ello, la mayor parte de los yacimientos se encuentran en las partes apicales de los leucogranitos o en sus diferenciaciones más alcalinas, concretamente las albititas.

Al igual que ocurre con los yacimientos de wolframio, los leucogranitos fértiles muestran también una evolución progresiva, pero en este caso las fases de transformación más importantes son la albitización y la greisenización. Ejemplos de este tipo de yacimientos son los indicios estanníferos asociados a los granitos albiticos de Golpejas y Martinamor, en Salamanca, y Losacio, en Zamora, en los que hay zonas completamente silicificadas que contienen ocasionalmente, además del estaño, niobio y tántalo.

Los granitos albiticos (ARRIBAS, 1978) se presentan en grandes diques —a veces, como en el caso de Golpejas, anulares— o como pequeños apuntamientos. La paragénesis consiste en cuarzo, albita u oligoclasa, feldespato potásico, moscovita muy rara biotita, columbita-tantalita, tapiolita —libre o incluida en la casiterita—, ilmenita, rutilo, apatito, y ocasionalmente turmalina y fluorita. Localmente, la caolinización puede ser muy fuerte.

De los yacimientos de este tipo que existen en la región, el más importante es el de Golpejas, situado 22 km. al oeste de Salamanca, en la carretera que va desde esta capital a La Fregeneda (Fig. I.2.M.17). El dique anular de granito albitico tiene unos 600 m. de diámetro, una potencia variable entre 10 y 30 m., y un buzamiento periclinal de 20 a 50°. Está encajado en esquistos paleozoicos, probablemente cámbricos, compuestos de cuarzo, sericita y clorita, y ocasionalmente andalucita, dirigidos al NO y atravesados por diaclasas subverticales de dirección N 15° E y N 20° O. La zona está cubierta, especialmente hacia el Este, por formaciones del Terciario y Cuaternario, especialmente del primero, consistentes en arcosas de edad paleógena formadas fundamentalmente por granos de cuarzo, feldespato y micas procedentes de la erosión de los granitos hercínicos.

El interés de la zona, en la que existen además algunos yacimientos aluviales de estaño, ha atraído la atención de varias compañías y del Instituto Geológico y Minero de España, el cual ha llevado a cabo, últimamente, un estudio geológico previo en el que ha colaborado activamente el Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca.

La casiterita y sus acompañantes, los minerales de Nb y Ta, se encuentran diseminados en la masa caolinizada del granito o en los filoncillos de cuarzo que le atraviesan. En cualquier caso, el yacimiento se explota a cielo abierto, ya que la distribución del estaño es muy desigual y la alteración del granito lo mismo que la de los esquistos encajantes— grande, lo que favorece su explotación a cielo abierto.

e) *Mineralizaciones filonianas*

Aunque de riqueza muy desigual, son frecuentes en Castilla la Vieja, concretamente en las provincias de Zamora —Calabor, Arcillera y Carbajales— y Salamanca —Fregeneda, Lumbrales y Navasfrías—, donde la casiterita puede estar asociada tanto a diques de aptitas y pegmatitas como de cuarzo, dando lugar estas últimas a los yacimientos más importantes.

En todos los casos, se trata de diques de cuarzo, aislados o formando haces, que atraviesan los esquistos y cornubianitas paleozoicos, en el exocontacto o en la proximidad de los leucogranitos hercínicos. La turmalinización de las rocas encajantes suele ser fuerte, y las mineralizaciones están formadas esencialmente, aparte de casiterita, arsenopirita, pirita, y a veces molibdenita, por cuarzo, moscovita, berilo, apatito y turmalina. La scheelita y/o wolframita son muy raras o están ausentes (ARRIBAS, 1978).

A las investigaciones que realizan en la región las propias compañías mineras —entre otras, Angel Luengo, S. A., Gabriel Velázquez, S. A., PROPASA, Phelps Dodge, y Promotora de Recursos Naturales, S. A.—, se unen las que el IGME efectúa en las provincias de Zamora y Salamanca sobre este mismo tipo de yacimientos, el cual ofrece buenas perspectivas simplemente con que se mejoren los métodos de explotación.

f) *Mineralizaciones aluviales*

Los yacimientos de origen aluvial son frecuentes en la región castellana, pero por lo general de importancia reducida. El más interesante corresponde al llamado «Grupo Españas», de Interminas, Sociedad Anónima, que se encuentra en la zona de El Cubito, unos 8 km. al SO de Calzada de Don Diego, en la provincia de Salamanca.

Como se trata de un aluvión fósil —en realidad, un coluvión—, situado entre la superficie de erosión del zócalo herciniano y del Terciario, y dada la importancia económica que tendría el descubrimiento de otros yacimientos análogos, el IGME ha efectuado un estudio geológico de la zona en colaboración con ENADIMSA y el Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca, así como llevado a cabo un plan de sondeos de comprobación que ha puesto de relieve la posibilidad de que este tipo de yacimientos, no aflorante, sea más extenso de lo que puede pensarse en un principio.

En El Cubito, el yacimiento primario, no explotado en este caso, está constituido por filones de cuarzo, pegmatitas y aptitas que atraviesan los esquistos cámbricos del zócalo hercínico. El yacimiento secundario, que es el que tiene interés económico, corresponde a un paleocauce, de dirección aproximadamente N-S, que comienza en el zócalo, 1 km. al sur de la planta de tratamiento, y que se va hundiendo paulatinamente bajo el Plioceno. Esta formación consiste en 13 m. de arcillas, prácticamente estériles, y 12 m. de aluviones, constituidos éstos por cantos de cuarzitas y micacitas que se disponen en una matriz arcillosa en la que se encuentra la mineralización. Actualmente, el fondo de la cantera está situado 30 m. por debajo de la superficie a la altura del frente de explotación. La ley media del yacimiento es de solo 1 k./ton, la que, aún siendo baja, es rentable, ya que se debe tener en cuenta el favorable método de explotación y el creciente precio del estaño.

C) *Manganeso*

a) *Generalidades*

Aunque al manganeso, como metal, no tiene aplicaciones, es muy importante su uso en siderurgia, especialmente en forma de aleaciones, como ferromanganeso, para obtener aceros duros y resistentes al desgaste, y como desoxidante y desulfurante. Por otro lado, los compuestos oxidados de manganeso se utilizan ampliamente en medicina, así como en las industrias textil y de cerámica y vidrio como colorantes. Finalmente, los otros dos consumidores actuales de importancia son la industria química y la fabricación de pilas secas.

Los minerales de manganeso son muy numerosos, más de un centenar, siendo los más interesantes desde el punto de vista práctico los óxidos, carbonatos y silicatos. De los óxidos, los más frecuentes son la pirolusita (MnO_2) haussmanita (Mn_3O_4), braunita ($Mn_2Si_2O_4$) y psilomelana ($2[Ba, H_2O] Mn_5O_{10}$);

de los carbonatos, la rodocrosita ($MnCO_3$), y de los silicatos, la rodonita ($MnSiO_3$). En España se encuentran todos ellos en los yacimientos de manganeso que existen en la provincia de Huelva.

Los principales consumidores españoles de manganeso son la Sociedad Española de Carburos Metálicos, con factorías en La Coruña y Barcelona, FYESA, de Santander, y SEFESA, de Bilbao.

Por lo que se refiere a la producción, España es claramente deficitaria, creciendo las importaciones de manganeso a un ritmo muy elevado. Por ello, como las minas de Huelva, que eran las primeras del país, han cerrado hace ya unos años, sería muy necesario investigar exhaustivamente las posibilidades nacionales, y concretamente las de Zamora, donde por ahora se encuentran los únicos indicios de interés de la región castellano-leonesa.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Los yacimientos e indicios españoles de manganeso se distribuyen en cinco zonas principales situadas en las provincias de Huelva, Zamora, Teruel, Ciudad Real y Asturias.

Los de Huelva están claramente asociados con los sulfuros y rocas ígneas de la Faja Pirítica Ibérica, y son de origen volcánico-sedimentario. Los de Teruel están asociados con las margas continentales del Cretácico Inferior de la facies de Utrillas y son indudablemente sedimentarios. Los de Ciudad Real están directamente relacionados con la desecación de antiguas lagunas en las que precipitaron los óxidos de manganeso disueltos, los cuales procedían de la meteorización de las rocas volcánicas pliocuaternarias del Campo de Calatrava. Finalmente, los yacimientos de Asturias, como los de Zamora, se han producido por meteorización de rocas carbonatadas y esquistos ricos en manganeso pertenecientes probablemente al Silúrico.

También, de acuerdo con los estudios realizados para el PNEM (tomo 15, 1971) y PNIM (tomo 21, 1971), existen otras mineralizaciones en los Pirineos Catalanes, y en las provincias de Murcia —Cartagena y La Unión—, Badajoz —Zahinos y Oliva de la Frontera—, Málaga —Periana—, Castellón —Villanueva de Viver—, León —Valdesamario—, Almería —Sorbes—, y Zaragoza —Apartir y Torralba—, pero sin que ninguna de ellas tenga interés económico por ahora.

En cualquier caso, es curioso señalar que la minería del manganeso, que empezó a desarrollarse en España a mediados del siglo pasado, alcanzó rápidamente su apogeo, de tal forma que España fue el primer productor mundial antes de que se encontraran los grandes yacimientos rusos, americanos y chinos. Actualmente, después del descubrimientos de las grandes reservas del Gabón, Brasil y Sudáfrica, lo único que se puede hacer en nuestro país es tratar de encontrar la suficiente cantidad de manganeso para autoabastecerse, cosa que no es nada fácil dada la dificultad que presenta competir con los precios internacionales.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

En la región Castellano-Leonesa, aparte de los indicios de manganeso existentes en Villafranca y Barbadillo del Pez, en la provincia de Burgos, donde el mineral forma venillas de poca potencia en los esquistos del Silúrico, y de los de Villares de Yeltes, en Salamanca, donde el mineral ocurre en filones de cuarzo, las únicas formaciones manganésíferas de interés son las existentes en la provincia de Zamora.

En esta última provincia, los minerales de manganeso se encuentran formando costras y filones sobre y en las pizarras del Silúrico del sinclinal de Aliste, asociados a los yacimientos de baritina y a las rocas piroclásticas, carbonatadas y ampelíticas, características de las formaciones de aquella edad. En realidad, los óxidos de manganeso son el resultado de la meteorización de las rocas carbonatadas y calcoesquistos manganésíferos sobre los que forman una especie de monteras de hierro y manganeso.

Las minas de la zona se encuentran cerca de las localidades de Carbajales, Manzanal, Samir, Grisuela, Muelas, Trabazos y Rabanales, es decir, a todo lo largo del sinclinal de Aliste. Por ello, dada la continuidad de los indicios, merecería la pena hacer una investigación detallada para comprobar si los yacimientos existentes son susceptibles de ampliación, o si se pueden encontrar otros nuevos.

D) *Hierro*

a) *Generalidades*

Tal y como se desprende de los datos recogidos por el Instituto Geológico y Minero de España en su estudio de la minería (PNEM, 1971) y el programa sectorial del hierro (PNIM, 1971), las posibilidades de encontrar nuevos yacimientos en España de tan importante materia prima son muy escasas. Máxime, teniendo en cuenta la enorme competencia que va a tener cualquier mineral de hierro, que no sea de una gran calidad, con el precio de los minerales procedentes de Australia o Brasil, donde las reservas son gigantescas, la ley excelente, y el transporte, que en cualquiera de los dos casos es por barco, relativamente barato.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Los indicios y yacimientos españoles de hierro se encuentran repartidos por el Noroeste (León y Lugo), Norte (Vizcaya y Santander), Sureste (Granada y Almería), Suroeste (Badajoz), y Centro-Levante (Teruel y Soria), aparte de las magnetitas, en estos momentos sin importancia, de la Serranía de Ronda, en la provincia de Málaga.

Por lo que se refiere a las mineralizaciones de la región castellana, los yacimientos de Olvega, en la provincia de Soria, y los de Olmos de Atapuerca, en la de Burgos, dejaron de explotarse en 1975.

Desde el punto de vista metalogénico, los yacimientos españoles son muy variados, ya que los hay sedimentarios, como los de León y Lugo; residuales o de reemplazamiento, como los de Vizcaya, Santander, Almería y Teruel; de metamorfismo de contacto, como los de Málaga y Badajoz; y de metamorfismo regional, como los de León y Lugo.

c) *Explotaciones, recursos y reservas de la región*

Tal y como se acaba de indicar, las dos únicas zonas con yacimientos de hierro de cierto interés que, fuera de los de la provincia de León, se han trabajado en la región Castellano-Leonesa, se encuentran en las provincias de Soria y Burgos, si bien todos ellos están actualmente inactivos.

En Soria, las minas de Olvega, situadas en la terminación periclinal del macizo paleozoico del Moncayo, donde las mineralizaciones se presentan como filones subverticales, de dirección aproximadamente N-S, encajadas en cuarcitas, conglomerados, calizas y pizarras de edad probablemente cámbrica, se han explotado hasta 1975.

El mineral es oligisto (Fe_2O_3), y las mineralizaciones, lo mismo que las de los yacimientos, hace ya mucho tiempo parados, de Borobia y Olmecedo, que poseen las mismas características geológicas, parecen situarse en las proximidades del frente de cabalgamiento del Cámbrico sobre las formaciones jurásicas y wealdenses.

En la provincia de Burgos, solo estuvo en actividad, también hasta 1975, el llamado grupo Hongo, situado en el término de Olmos de Atapuerca. El mineral, que también es hematites, se localiza en una estructura anticlinal, alargada en dirección E-O y con el flanco sur fallado y cabalgante, formada por los siguientes materiales: dolomías y carniolas del Suprakeuper o Infralías, en la base; calizas dolomíticas del Lías; conglomerados silíceos y ferruginosos, posiblemente Wealdenses; arenas albenses de la facies de Utrillas; y calizas del Cretácico, en la parte superior.

La mineralización, de origen sedimentario, está asociada a las dolomías y carniolas del muro, donde el hierro se depositó como consecuencia de fenómenos cársticos.

E) *Plomo*

a) *Generalidades*

Desde mediados del siglo XIX, en que la producción nacional de plomo sobrepasó a la alemana, España se puso a la cabeza en este campo de la minería durante casi cincuenta años. Posteriormente, desde finales del siglo pasado, EE.UU., Australia, México y Canadá se fueron haciendo sucesivamente

con la hegemonía de un metal cuya gran utilidad y numerosas aplicaciones han ido creciendo desde el tiempo de los romanos.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Actualmente, tal y como se desprende del estudio sectorial y de la minería del plomo efectuado por el Instituto Geológico y Minero de España con los Programas Nacionales de Investigación y Explotación Minera (PNIM, 1972; PNEM, 1971), la producción nacional de plomo procede en su casi totalidad de la galena (PbS) obtenida en estas provincias: Murcia, Santander y Jaén. En el pasado, Almería, Ciudad Real, Córdoba y Badajoz han representado un papel importante, e incluso poseen indicios y yacimientos que merecería la pena estudiar con cuidado a la hora de valorar los recursos nacionales.

Por lo que se refiere a su modo de formación, los yacimientos españoles de plomo tienen un origen muy variado, tal y como se desprende del estudio metalogénico realizado por el Departamento de Geología y Mineralogía de la Universidad de Salamanca (ARRIBAS, 1972).

Los de Murcia son de origen ígneo, y su formación está relacionada con la de las rocas volcánicas de la Sierra de Cartagena. Los de Santander, por el contrario, son de origen sedimentario, y forman parte de los numerosos indicios y yacimientos de plomo y cinc que existen en las formaciones cretácicas, concretamente del Aptense, de las provincias de Santander, Vizcaya y Guipúzcoa, así como en la prolongación de la Cordillera Ibérica, en la provincia de Teruel. Finalmente los yacimientos de Jaén son filonianos, y están relacionados con el emplazamiento de las rocas plutónicas del batolito de Los Pedroches.

En otro orden de magnitud, los yacimientos de Almería son, como los de Santander, de origen sedimentario, pero asociados en este caso con fluorita, mientras que los de Ciudad Real, Córdoba y Badajoz tienen un origen ígneo y están asociados con las rocas plutónicas y metamórficas que forman el zócalo hercínico del Oeste de la Península Ibérica.

Por último, hay que reseñar la gran importancia de los yacimientos volcánico-sedimentarios de la provincia de Huelva, donde existen, aparte de las reservas conocidas, otros 500 millones de toneladas de sulfuros complejos de cobre, plomo y cinc que se podrán poner en explotación tan pronto se resuelva el problema de la separación y concentración de sus minerales.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Los yacimientos de plomo de la región Castellano-Leonesa carecen realmente de importancia. Los de mayor interés son los de la provincia de Soria, bien sean los rellenos cársticos de las calizas y dolomías del jurásico —el yacimiento de Loma Charra, en Olvega, por ejemplo—, o los yacimientos filonianos del Paleozoico de Peñalcazar y la Alameda, ya en el límite con Zaragoza. Todos los cuales, debido a sus escasa ley y dificultades de explotación, dejaron de producir a partir de 1973.

Otros indicios de plomo, carentes de interés por ahora, son los filonianos de las provincias de Salamanca y Avila, asociados a granitos y otras rocas plutónicas. Los de la primera están en los términos de Martinamor, Valdemierque, Santibáñez de Béjar y Aldeavieja de Tormes, y los de la segunda, en los de Sotillo de Ladrada y Losar del Barco, asociados generalmente con baritina.

En cualquier caso, dada la reducida importancia de los indicios actuales y su tipo de yacimiento, las posibilidades de encontrar nuevas mineralizaciones de interés económico en la región son muy escasas.

2.3. MINERALES NO METÁLICOS

La denominación de minerales no metálicos abarca a una serie de substancias de naturaleza muy diferente que sólo tienen en común el que generalmente no se pueden utilizar sin tratamiento previo.

De todos los minerales incluidos bajo este concepto en la estadística minera, sólo se explotan en la región castellano-leonesa los que se indican a continuación, de los cuales, los feldespatos ofrecen enormes posibilidades para un futuro inmediato:

- A) Baritina.
- B) Caolín.
- C) Arcillas.
- D) Feldespatos.
- E) Cuarzo y arenas silíceas.
- F) Glauberita.
- G) Sal común.
- H) Yeso.

A) *Baritina*

a) *Generalidades*

Aunque la barita se ha venido utilizando desde antiguo en la elaboración de pinturas y concretamente en la obtención del litopón —ahora prácticamente desaparecido como consecuencia de la competencia del óxido de titanio— hace ya tiempo que sus aplicaciones más importantes se centran en el campo de la industria química para la obtención de compuestos de bario; en la fabricación del caucho, linoleum y plásticos; en la del vidrio, como oxidante y decolorante; y, sobre todo, a partir de 1920, como lodo de sondeos, especialmente de los petrolíferos. Todo ello consecuencia de sus particulares propiedades físicas, concretamente, de su elevada densidad (4,2), sencillo y limpio manejo, y fácil molienda, así como su naturaleza químicamente inerte y no abrasiva.

Actualmente, se puede decir que el 75% de la producción de barita se emplea como lodo para refrigerar y lubricar las brocas de sondeo, y como espesador para controlar las presiones anormales del fluido y prevenir las fugas.

De los dos minerales principales de bario —*barita*, BaSO_4 , y *witherita*, BaCO_3 —, sólo la barita tiene importancia práctica, ya que, además de ser el más abundante, constituye por sí mismo un producto de aplicación industrial. Incluso, para muchas de sus aplicaciones, no hace falta que sea puro, si bien éstas dependen de su grado de concentración. En este sentido, el mineral que se comercializa tiene una ley en BaSO_4 comprendida entre el 80 y 95%, siendo normalmente los minerales acompañantes alguno de los que se indican a continuación: sílice, carbonatos, plomo, óxidos de hierro, fluorita y feldespatos.

Del porcentaje de barita depende el peso específico del mineral, el que, para alcanzar una densidad de 4,25, que es la exigida como lodo de sondeos, requiere un producto libre de sales solubles, finamente molido, y con un contenido del 92% en BaSO_4 . Las condiciones, muy estrictas, exigidas internacionalmente para este uso, que es el más importante, están especificadas en las normas de la OCMA (Oil Companies Materials Association) y al API (American Petroleum Institute).

Dado que el principal empleo de la barita es como lodo en las profundas y costosas perforaciones petrolíferas, es ésta actividad la que condiciona al volumen de las labores mineras. Por ello, como en España, donde los yacimientos son relativamente abundantes, la investigación de hidrocarburos no alcanza niveles elevados, la mayor parte, el 50% de la barita producida se dedica a la exportación.

Hay que destacar, además, que dada la gran diversidad de los yacimientos españoles y su falta de concentración, el minifundio es la característica principal de las explotaciones, lo que da lugar a una minería selectiva, perjudicial para una explotación integral, que abandona los trabajos a la menor dificultad. Una relación exhaustiva de las minas españolas de barita, tanto paradas como en actividad, se incluye en el apartado correspondiente a esta substancia en el volumen 23 del Programa Nacional de Explotación Minera (1971).

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Las principales zonas productoras de barita están situadas en las provincias de Córdoba, Badajoz, Zaragoza, Guadalajara, Huelva, Sevilla, Zamora, Gerona, Barcelona, Almería, Lérida, Madrid, Málaga, Oviedo, Santander, Tarragona y Teruel (Fig. I.2.M.18).

De los diferentes tipos de yacimientos de barita existentes en España, los más importantes corresponden a los *filonianos*, *estratiformes* y de *concentración residual*.

Los primeros, relacionados con la formación y emplazamiento de las rocas ígneas, son por ahora los más importantes, especialmente los de las provincias de Córdoba, Zaragoza y Badajoz. Tarragona, Sevilla y Asturias tienen igualmente yacimientos de interés, susceptibles también de mejores rendimientos si se adecuaban los métodos de explotación.

Los yacimientos estratiformes son quizá los más interesantes, ya que por su origen sedimentario ofrecen la posibilidad de encontrar mayores tonelajes y en mejores condiciones de explotación. Son, además, los que tienen mayor importancia en la región Castellano-Leonesa, concretamente en la provincia de Zamora, donde hasta ahora han sido objeto de trabajos mineros artesanales que no han permitido llegar a tener un conocimiento adecuado de la importancia de sus reservas.

Por último, los yacimientos de concentración residual, que tan importantes son en el área mediterránea, especialmente los del Iglesias, en Cerdeña (Italia), no parecen tener en España mayor interés. En efecto, los indicios de Olvega, en Soria, y San Carlos, en Ibiza, pertenecientes a esta clase, son por ahora, dado lo reducido de los afloramientos y su baja ley, solamente una curiosidad científica.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

En Castilla-León, todos los indicios y yacimientos de barita se encuentran en las provincias de Avila y Zamora (Fig. I.2.M.19). Los de la primera son todos filonianos y están encajados en los granitos adamelíticos del Sistema Central. La mayoría de las veces, la barita, junto con el cuarzo y algunos raros carbonatos, es el único mineral del filón. Otras veces, la barita es uno de los minerales de la ganga de filones que contienen galena y que, ocasionalmente, han estado en explotación. Los indicios más importantes están localizados en las proximidades de Higuera de Dueñas y Sotillo de Ladrada.

Por lo que se refiere a las mineralizaciones estratiformes, se encuentran todas en la provincia de Zamora y, junto con las de Llerena, en Badajoz, y algunos otros indicios que hay cerca de Talayuelas, en el límite de las provincias de Cuenca y Valencia, son los más importantes de España de esta clase. Se encuentran en las proximidades de Vide de Alba, Gamir, Gallegos del Río, Trabazos, Villas y San Blas.

A diferencia de lo que ocurre con las mineralizaciones filonianas, las que ni por su riqueza ni abundancia ofrecen por ahora mayor interés, las mineralizaciones de Zamora pueden tener en el futuro verdadera importancia y, si se investigan adecuadamente, convertirse en significativos productores de bario en nuestro país. Por ello, dado además que la zona es objeto de especial atención por parte del Instituto Geológico y Minero de España y varias compañías extranjeras, se resumen a continuación los estudios efectuados en el área de Vide —la mejor conocida actualmente— por el Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca.

d) *El yacimiento de Vide de Alba (Zamora)*

La mina «Ambiciosa», situada 1,5 km. al sur de Vide de Alba, en la provincia de Zamora, se encuentra junto al arroyo Ramiro, afluente del río Aliste, en el paraje denominado El Llombo (Fig. I.2.M.20). Su principal interés radica en que es el primer yacimiento de barita de origen sedimentario estudiado en España y, por ahora, el ejemplo más representativo de todos los que existen en la provincia de Zamora (ARRIBAS et al., 1980).

Generalidades

La serie estratigráfica en la que se encuentran las capas con barita pertenecen a la base del Silúrico. El muro de la formación está constituido por las pizarras, areniscas, y grauwacas ordovícicas que, metamorfozadas en la facies de los esquistos verdes, constituyen el anticlinal de El Llombo. El techo del yacimiento está formado por la alternancia de esquistos ampelíticos, liditas y esquistos sericíticos, más o menos carbonosos, que es característica del Silúrico de esta zona. Por otro lado, en inmediato contacto con la banda mineralizada, hay unos niveles de rocas piroclásticas —tobas y cenizas volcánicas— cuya relación genética con la barita es evidente. Se trata de materiales bastante ácidos que parecen corresponder a emisiones de tipo riolítico o riódacítico.

Las rocas encajantes del yacimiento están, al igual que la capa de barita, afectadas por la esquistosidad de flujo de la segunda fase tectónica que actuó sobre todos los materiales paleozoicos de

la zona. Estos materiales fueron deformados después por pliegues isoclinales de la tercera fase y por los concéntricos de la cuarta. La esquistosidad dominante en el área es de fractura, y pertenece a esta última fase, la cual tiene unos planos axiales de dirección ONO y buzamiento SSO prácticamente vertical.

La mineralización

El yacimiento está constituido por una alternancia de calizas más o menos ricas en Mg., Fe y Mn; bandas de esquistos silíceos y calcáreos; filitas y lechos de barita, éstos unas veces continuos, generalmente de forma lenticular, y otras veces nodulosos. La base de este nivel, que tiene de 15 a 20 m. de potencia, está formada por un estrato finamente bandeado constituido por barita y abundantes sulfuros de hierro, especialmente pirita (ARRIBAS, 1978). En todos estos sedimentos se reconocen, además, texturas de gravedad, lo que permite establecer criterios de techo y muro para establecer la polaridad de la serie estratigráfica. Dato éste muy importante dada la fuerte deformación tectónica, que no metamórfica, experimentada por la mineralización y las rocas encajantes.

Los minerales primarios son barita, microcristalina o en nódulos, éstos últimos recrystalizados durante la diagénesis y deformados durante la segunda fase tectónica. Unas veces, los nódulos han conservado la estructura fibroso-radiada original; otras veces están silicificados, solo en la periferia o por completo; y, en general, aparecen rodeados por microclitos de barita y pirita cristalina en disposición fluidal y que ocasionalmente dan origen a texturas geopetales.

Entre los sulfuros, el más abundante es la pirita, especialmente en la base de la secuencia mineralizada, donde da lugar a texturas fluidales alrededor de los nódulos y cristales. También es muy frecuente en los esquistos ampelíticos, liditas y rocas piroclásticas, donde los cristales son mayores y están reemplazados por cuarzo microcristalino.

La esfalerita es mucho más rara, pero aparece o bien diseminada en la roca, en forma de cristales diminutos, a veces submicroscópicos, o en cristales que llegan a medir 5 mm. de sección, o como cristales mayores en los diques de cuarzo con tetraedrita que atraviesan la formación. Por lo que se refiere a esta última, los cobres grises sólo se ven en los filones de cuarzo, pero indudablemente son producto de la recrystalización metamórfica del cobre contenido en los sedimentos.

Los carbonatos que acompañan a la barita, y que se pueden considerar como la ganga de la mineralización, corresponden a una calcita que contiene ocasionalmente una alta proporción de Fe, Mg y Mn. Por ello, la oxidación de los carbonatos, al igual que la de la pirita, da lugar a la formación de abundantes minerales secundarios de hierro y manganeso en las zonas de la meteorización.

Geología económica

Como resultado de los estudios llevados a cabo se ha podido establecer que el yacimiento de Vide de Alba, al igual que los de San Blas y Gallegos del Río, así como los otros muchos indicios con barita situados más al Oeste, en el mismo sinclinal de Aliste, forma parte de una serie estratigráfica paleozoica de origen volcánico-sedimentario. Además, la congruencia entre los niveles y nódulos de barita, las capas pelíticas y carbonatadas, y las rocas piroclásticas encajantes es total, lo que prueba sin lugar a dudas que la barita se depositó durante el mismo proceso sedimentario. La fuente del bario y de los sulfuros metálicos hay que buscarla en los fenómenos volcánicos exhalativos que acompañaron al emplazamiento de las rocas piroclásticas.

Por todo ello, teniendo en cuenta las grandes analogías que este tipo de mineralización tiene con las de Meggen, en Alemania, y Magnet Cove, en Arkansas (EE.UU), que son o han sido los mayores yacimientos del mundo, se comprende la importancia de efectuar un estudio a fondo de los yacimientos e indicios de la provincia de Zamora, ya que su valor potencial puede ser muy grande.

En este sentido, hay que tener presente la creciente demanda de barita en el mercado europeo, demanda que se verá incrementada notablemente como consecuencia de los numerosos sondeos petrolíferos que habrán de hacerse en un futuro próximo para extraer las grandes reservas de hidrocarburos existentes en el Mar del Norte.

B) *Caolín*

a) *Generalidades*

La importancia creciente del caolín en todo el mundo se debe a sus muchas aplicaciones y abundancia. Así, al consumo tradicional en las industrias de loza, porcelana, gres, materiales refractarios y papel, se une ahora su empleo en la fabricación de cauchos, plásticos, pinturas, insecticidas, productos farmacéuticos, absorbentes, blanqueadores, fertilizantes, cosméticos, jabones, detergentes, y cementos especiales. Todo ello, como resultado de los avances de la tecnología en el tratamiento del caolín, especialmente de la ultraflotación, que permite la separación de las impurezas inferiores a una micra.

La materia prima llamada caolín es un producto formado por la descomposición de rocas ígneas y metamórficas ricas en feldespatos bajo la influencia de agentes reductores, tales como la materia orgánica, al anhídrido carbónico, y los ácidos húmicos, lo que da lugar a la formación de un grupo de minerales de la arcilla compuesto esencialmente por caolinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Las dos principales áreas con yacimientos de caolín están situadas en el Noroeste, en Galicia y Asturias, y en la zona centro-oriental de España, en las provincias de Soria, Guadalajara, Cuenca y Teruel. Otros yacimientos de menor importancia se encuentran en las provincias de Burgos, Segovia, Salamanca, Zaragoza, Guadalajara, Badajoz, Córdoba, Navarra, Toledo y Santander.

Los principales productores en el NO son Explotaciones Cerámicas Españolas, S. A. —una asociada de Rosenthal AG—, de Burela, en Lugo, y Caolines de Lage y la Cía. Minera Santa Comba, S. A., de Lage y St. Comba, en La Coruña. Otras explotaciones son las de Cedonosa y Lomba Camiña, en Catoira y La Guardia respectivamente. Además, dos importantes proyectos, en avanzado estado de desarrollo, son las de Explosivos-Río Tinto, en Vimianzo (La Coruña), y Basazuri, S. L., en Foz (Lugo).

Los principales productores de la zona central son Caolines del Norte, S. L., que opera en Hontoria del Pinar, en el límite de Burgos y Soria; Caosil Serso, S. A. y Caobar, S. L., en Villanueva de Alcorcón y Poveda de la Sierra, en la provincia de Guadalajara; Minar, S. A. y Silices y Caolines de Aragón, en Riodeva, en la provincia de Teruel; Caolines de Cuenca, S. A., Sasocipa, S. L. y Caolina, S. A., en El Cubillo y otros puntos de la provincia de Cuenca; y Cerámica de Covesa y otras más en Villar del Arzobispo, en la de Valencia.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Dada la compleja y variada geología de España, se dispone de numerosos y variados yacimientos distribuidos por toda la geografía nacional, si bien, como se acaba de indicar, están especialmente concentrados en el NO y en la zona Centro-oriental (Fig. I.2.M.21).

En la zona NO, el caolín de Galicia se encuentra asociado (IGME, 1976) a una de estas tres formaciones:

- granitos alterados por acciones hidrotermales o meteóricas
- rocas volcánicas de tipo felsítico.
- cuencas terciarias o cuaternarias donde, más que caolín, se tratan arenas caoliníferas.

En Asturias, el caolín está asociado con niveles arcillosos de las cuarcitas armóricas, en yacimientos semejantes a los del Wealdense y de la facies de Utrillas, y se emplea tal y como sale de la mina para hacer chamota con fines refractarios.

En la zona Centro-oriental de España, el caolín se encuentra en los niveles arenosos del Cretácico Inferior (facies Wealdense y de Utrillas) de la Cordillera Ibérica. Estos caolines son menos blancos que los de Galicia, pero tienen sin embargo una granulometría más fina y no presentan problemas para la separación de las micas.

Desde el punto de vista geológico, los caolines del Cretácico se depositaron en unas cuencas que rodeaban la Meseta y con los productos procedentes de la alteración de las rocas del zócalo hercínico, ígneo y metamórfico. Debido a su forma lenticular, la potencia de las capas es de aproximadamente 15 m. si bien hay algunos yacimientos que presentan cortes de hasta 50 m.

En cualquier caso, aunque la ley de estos yacimientos oscila entre el 5 y 30%, con una media del 10 al 12%, lo que les hace perfectamente beneficiables, los estudios efectuados durante el desarrollo del PNEM (tomo 23, 1971) indican que la extensión de las capas mineralizadas, su abundancia y la calidad de sus arenas permiten ser optimistas en cuanto a las posibilidades de aumentar ampliamente la producción

En este sentido, las reservas de Galicia se cifran en 18 millones de toneladas del todo-uno, de las cuales, el 50% se explota para arcillas refractarias, obteniéndose como subproducto caolín. Las reservas posibles son muchos mayores.

En Asturias, se calculan las reservas en unos 100 millones de toneladas, pero el caolín se vende en bruto para fabricar únicamente materiales refractarios.

En la Cordillera Ibérica, las reservas de arenas caoliníferas se estiman en unos 1.800 millones de toneladas, por lo que si se considera que éstas tienen una ley media del 10%, las reservas de caolín ascienden a 180 millones de toneladas.

Por lo que se refiere al mercado del caolín, las posibilidades españolas son muy altas si se corrigen las deficiencias tecnológicas del sector dedicado a la producción, ya que nuestro país cuenta con reservas suficientes para autoabastecerse y no tener necesidad de efectuar las importaciones a las que se ve obligado actualmente para conseguir más de 100.000 toneladas al año de caolines de calidad.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Aparte de las pequeñas explotaciones, ahora inactivas, de Almenara de las Torres, en Salamanca, donde el caolín se extraía de unos esquistos sericíticos, muy alterados, situados bajo los materiales terciarios del borde de la Meseta, y de los existentes en las areniscas cretácicas de Segovia, toda la producción de caolín de la región castellano-leonesa procede de los yacimientos de Hontario del Pinar situados en el límite de las provincias de Burgos y Soria.

De estos yacimientos, propiedad de Caolines del Norte, S. L., se extraen mensualmente alrededor de 1.000 toneladas de caolín, procedentes de unas arenas silíceas, más o menos caolinicas, del Albense-Aptense. Los dos yacimientos más importantes, «La Unión II» y «La Esperanza», tienen unas leyes medias del 10 y 15% de Al_2O_3 , y del 85 y 90% de SiO_2 , respectivamente.

En cualquier caso, las posibilidades que ofrece la región para encontrar nuevos yacimientos, si no tan favorables como los de las provincias situadas en la Cordillera Ibérica, son prometedoras, tanto en los materiales mesozoicos de Burgos, Soria y Segovia, como en los terciarios de Salamanca y Zamora. Por ello, dado el interés creciente de esta materia prima convendría intensificar la prospección de nuevos yacimientos en la región.

C) *Arcillas*

a) *Generalidades*

La arcilla, término ambiguo con el que se designan tanto la roca como los minerales que la constituyen, ha sido utilizada por el hombre desde la más remota antigüedad, lo que se debe a la plasticidad y facilidad de moldeado de sus mezclas con el agua y a la resistencia que éstas adquieren cuando son sometidas a temperaturas elevadas.

Actualmente, su empleo se ha multiplicado de forma extraordinaria, pues además de su permanente utilización en la fabricación de porcelana y materiales de la construcción y refractarios, las interesantes propiedades físicas y químicas de sus minerales hacen que la arcilla tenga además otras muchas aplicaciones. Entre ellas, por ejemplo, como aglomerante en la fabricación de pinturas, plásticos y papel; como absorbente, en la preparación de abonos, pesticidas y productos farmacéuticos; como catalizador, decolorante y desengrasante, en la industria química y del petróleo; como lodo de sondeos; y para la fabricación de cemento y abrasivos artificiales.

Los minerales de la arcilla son silicatos hidratados de aluminio, magnesio y hierro —aunque a veces llevan también calcio, potasio u otros elementos—, de grano extremadamente fino, que constituyen la masa fundamental de las arcillas y pizarras arcillosas. Junto a ellas, las arcillas naturales pueden llevar cantidades variables de sílice más o menos hidratada, alúmina, óxidos de hierro y manganeso,

carbonatos, sales solubles, materia orgánica y restos carbonosos. Por su interés práctico y económico, los más importantes minerales de la arcilla son la caolinita, illita, montmorillonita, attapulgita, sepiolita, palygorskita y clorita.

Por sus propiedades, la arcilla es la materia prima básica para la obtención de los productos cerámicos, a la que hay que añadir fundentes, colorantes y correctores para producir los efectos deseados. Entre esas propiedades, las más importantes son la plasticidad que adquieren con el agua, la contracción al secado, la cohesión interna, y el endurecimiento que presentan al ser tratadas por el fuego, así como su elevado punto de fusión.

La calidad de las arcillas para su aplicación en cerámica viene condicionada por la cantidad de alúmina, hierro, cuarzo y feldespato, la proporción de sales que den eflorescencias, el tamaño de las partículas, y la naturaleza y estructura de los restantes minerales. Si bien, en cualquier caso, el grado de pureza no es un concepto absoluto desde el punto de vista cerámico, pues ello depende de que la arcilla contenga o no los elementos que puedan ser perjudiciales para un uso determinado.

Los minerales de la arcilla se originan principalmente por la desintegración química de las rocas aluminicas como consecuencia de las alteraciones hidrotermales y la meteorización, y durante la sedimentación, de forma que los minerales más comunes se encuentran siempre en yacimientos formados por algunos de estos procesos.

a) *Arcillas comunes*

Además del caolín, las arcillas comunes, que son la mayoría de las arcillas españolas, muchas de las cuales tienen también carácter caolinítico, se emplean en la fabricación de refractarios y, sobre todo, en la de ladrillos, tejas y piezas especiales de arcilla cocida, concretamente en Galicia, el País Vasco, Cataluña, Aragón y Valencia.

La fabricación de estos últimos materiales, que son los de uso más corriente en el sector de la construcción, se lleva a cabo por cerca de mil industrias distribuidas por toda la geografía española. De ellas, sólo unas cien tienen categoría europea, por lo que los fabricantes, deseando mejorar el rendimiento técnico y económico de las mismas, han constituido una asociación, HISPALYT, que agrupa a más de ochocientos, es decir, a casi todas las industrias españolas, excepto las de artesanía.

Para dar una idea de la situación actual del sector, hay que destacar que en Italia, Francia e Inglaterra existen solamente unas 300 fábricas —cuando el número de ellas en 1962 era de 1.270, 556 y 676 respectivamente—, por lo que en España tiene que reestructurarse. Esto se está produciendo de manera espontánea, ya que el aumento en un 30 % del precio de la energía está condicionando el cierre de muchas fábricas artesanales. El 90 % de las industrias utilizan fuel-oil, mientras que en Cataluña se emplea gas y en Andalucía orujo, el cual se añade a la masa, mejorando la cocción y reduciéndose así el peso final del producto.

Por esta misma razón, se tiende hoy también al uso de la energía solar para el secado, ya que éste consume más del 40 % de la energía empleada en la fabricación, así como del horno-túnel, de fuego fijo, en lugar del horno Hoffman, de fuego móvil, para la cocción, ya que el primero tiene mejor rendimiento energético. En cualquier caso, la media nacional de la temperatura máxima de cocción es de unos 950° C., ya que el calor empleado en las transformaciones minerales es más o menos el mismo, 95 k. cal/Kilo. Solamente en Galicia se consume algo más durante la fase de secado.

La producción española de ladrillos, tejas y bovedillas asciende actualmente a unos 20 millones de toneladas anuales, de las cuales, sólo una pequeñísima parte, concretamente tejas curvas de artesanía, se exporta a los EE.UU.

b) *Arcillas especiales*

Se agrupan bajo esta denominación unos materiales compuestos por minerales del grupo de las esmectitas —arcillas hinchables, con gran capacidad de intercambio iónico—, diferentes por sus propiedades de las que se han indicado en el apartado anterior, y que, por lo que se refiere a España, comprenden la *bentonita* —una variedad de montmorillonita—, *sepiolita* y *attapulgita*.

La bentonita se utiliza en la industria siderometalúrgica para arenas de moldeo y pelletización, y en minería como lodo de sondeos. La sepiolita se usa como absorbente y decolorante. Y la attapulgita

tiene aplicación en los sectores químico y agrícola por su poder absorbente y gelificante. De los tres minerales, en Castilla la Vieja sólo existen indicios de attapulgita (Fig. I.2.M.22).

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Dada la abundancia de formaciones arcillosas en España, tanto en la mitad oriental, en la que predominan los materiales sedimentarios, como en la occidental, donde las rocas cristalinas del zócalo hercínico están frecuentemente recubiertos por terrenos terciarios y cuaternarios de naturaleza predominantemente arcillosa, los yacimientos de esta clase están muy repartidos en nuestro país. Esto es importante, ya que, salvo en el caso de las arcillas para usos especiales, y debido a la carestía del transporte, el mercado de los productos cerámicos tiene un radio de acción limitado, no mayor de cien kilómetros en las condiciones actuales.

Hay una excepción, sin embargo, y es en el caso de los materiales fabricados en Andalucía, concretamente en la zona de Bailén, donde por una serie de circunstancias favorables —empleo del orujo para la cocción, mayor cantidad de horas de sol para el secado, y mano de obra temporal y, por ello, más barata— los productos son competitivos hasta distancias que sobrepasan los 500 km.

a) *Arcillas comunes*

Sus yacimientos están bien distribuidos y se encuentran en todas las principales zonas consumidoras: Castilla-La Mancha (Madrid y Toledo), Castilla-León (Burgos, Palencia Valladolid y Zamora), Levante (Valencia, Castellón y Alicante), Cataluña (Barcelona, Lérida y Tarragona), Galicia (Orense), Extremadura (Cáceres), Aragón (Huesca y Zaragoza), País Vasco (Alava y Guipúzcoa), Asturias, Logroño y Andalucía (Jaén, Granada, Cádiz y Córdoba), citándose únicamente aquí las principales provincias productoras.

Los problemas principales para la explotación en gran escala de las arcillas españolas resultan de la falta de estructuración del sector, ya que en muchos casos la productividad de las plantas es muy baja y no existe una política definida ni en el aspecto comercial ni en el técnico. A ello se une la atomización de la industria y el bajo precio de los productos cerámicos como consecuencia de la crisis en el campo de la construcción, lo que se refleja en la falta de demanda tecnológica y las escasas inversiones, sobre todo cuando se comparan éstas con las que se aplican en el extranjero a este mismo tipo de industria.

b) *Arcillas especiales*

Los yacimientos de bentonita, así como los de sepiolita, ya que estos minerales van casi siempre juntos en España, se encuentran en las provincias de Madrid (Vallecas, Barajas, Vicálvaro, Paracuellos, Parla, Hortaleza y Coslada) y Toledo (Villaluenga de la Sagra y Esquivias). Sola, la bentonita existe también en las provincias de Almería (Níjar y Carboneras, en las Sierras de Gádor y Gata) y Murcia, así como en las Islas Canarias.

Las explotaciones de attapulgita más importantes de España están situadas en la zona de Torrejón el Rubio-Serradilla, en la provincia de Cáceres. La attapulgita se encuentra aquí en una capa que puede tener hasta 6 m de potencia, con un escaso recubrimiento, y donde los minerales de la arcilla están mezclados con arenas feldespáticas y silíceas, o con dolomita.

Fuera de esta zona, sólo existen indicios de attapulgita en las provincias de Sevilla, en el término de Lebrija, y Palencia, al este de Saldaña.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

De todo lo dicho anteriormente, y tal y como se puede ver en las cifras de producción y reservas recogidas en el PNEM (tomo 24, 1971), se deduce que, por lo que se refiere a las arcillas comunes, no existen problemas de abastecimiento en la región Castellano-Leonesa. En cuanto a las arcillas especiales, la existencia de attapulgita en Palencia es un buen indicio para buscar en la zona yacimientos de interés económico, lo que dependerá en gran parte de la demanda de aquellos materiales, ya que ésto será lo que permita contar con las inversiones necesarias para llevar a cabo su explotación.

D) *Feldespatos*

a) *Generalidades*

Los feldespatos, cuyo consumo para la fabricación de vidrio y porcelana ha seguido un ritmo creciente, son hoy uno de los minerales de aplicación industrial con más porvenir en España. En el primer caso, por su alto contenido en Al_2O_3 , y en el segundo, como fundente, mezclándolo finalmente pulverizado y en proporciones que oscilan entre el 10 y 55% con las diversas pastas utilizadas en la industria cerámica.

Por su composición mineralógica, los feldespatos de mayor interés son los alcalinos, es decir, los silicatos aluminicos sódico y potásico, *albita* ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y *ortosa* o *microclina* (KAlSi_3O_8), los cuales entran en los minerales comerciales en una proporción aproximada del 3 y 9% respectivamente. Si bien, en ocasiones, pueden ir también acompañados por pequeñas cantidades de *plagioclasas*, silicatos aluminicos sódico-cálcicos resultantes de la mezcla en diversa proporción de albita y anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

Por lo que se refiere al consumo, se puede decir que, en los países industrializados, el 55% de la producción de feldespatos se utiliza en la industria del vidrio, el 30% en la fabricación de cerámica de todas clases, y el resto en aplicaciones muy diversas, entre otras, como aglomerante para la fabricación de abrasivos, pinturas antiácidos, aislantes de humedad, jabones desengrasantes, electrodos, materiales alquitranados para cubiertas y fungicidas, así como para la de abonos minerales y fertilizante de plantas y semilleros forestales.

En España, el consumo se viene a repartir de la siguiente forma: vidrio, 42%; loza y porcelana, 33%; materiales refractarios y gres, 20%; otros usos, 5%. Calculándose que, para 1985, la demanda del mercado interior ascenderá a 300.000 tm, lo que va a significar un aumento del 225% en 15 años, con una tasa media de crecimiento anual del 16%.

Es de destacar, sin embargo, que la producción española tuvo que ser suplementada en los últimos años con importaciones, las cuales ascendieron, en 1974, a 16.000 t; de ellas, 13.000 t. vinieron de Francia, que es uno de los principales productores mundiales.

b) *Los yacimientos de la región a escala nacional*

Según datos del Ministerio de Industria (PNEM, tomo 23, 1971), hasta hace pocos años, casi toda la producción de feldespatos españoles procedía de las pegmatitas. Sin embargo, el descubrimiento de grandes reservas de arenas feldespáticas, precisamente en Castilla la Vieja, cuya explotación comenzó hace pocos años en la provincia de Burgos y continuó con las de Carrascal del Río, en la de Segovia, ha abierto nuevas perspectivas para la explotación de este tipo de yacimientos.

Las concesiones mineras se agrupan en cuatro zonas: *Noroeste*, que comprende las provincias de Lugo, Pontevedra y La Coruña; *Centro*, las de Avila, Segovia, Burgos, Salamanca y Madrid; *Noreste*, Gerona; y *Sur*, Córdoba. En el año 1977, la producción de estas cuatro zonas fue la siguiente: Noroeste, 17.800 t.; Centro, 63.300; Noreste, 65.000; y Sur, 23.000. Como se ve por estas cifras, la producción de la zona Centro, correspondiente casi toda ella a Castilla la Vieja —ya que la provincia de Madrid sólo aportó 6.800 t.— es tan importante como la de la provincia de Gerona, que es la primera productora de España. Sin embargo, la explotación de las arenas feldespáticas, cuyas reservas son muy grandes en Segovia y Salamanca, puede poner a la región Castellano-Leonesa a la cabeza de la producción nacional en un futuro inmediato.

Actualmente, el 75% de los minerales españoles se obtienen de pegmatitas, destacando entre ellas los grandes diques de las provincias de Gerona y Córdoba que son explotados por Lorda y Roig, S. A. y Aislamic Silicatos Ibéricos, S. A. en Llansá (Gerona) y Fuenteovejuna (Córdoba), respectivamente. A estos minerales hay que añadir los procedentes de las pegmatitas gallegas y de la zona Central, los cuales son tratados por Sulurak, S. L. y Diprife, S. L. en Foz (Lugo) y Colmenar Viejo (Madrid), respectivamente.

Por lo que se refiere a la región Castellano-Leonesa, los feldespatos procedentes de las pegmatitas representan sólo el 32% de la producción regional, en la cual adquieren cada vez mayor importancia los minerales procedentes de las arenas de Segovia y Salamanca.

Para que se pueda valorar el extraordinario interés económico de estas últimas, cuyas reservas recuperables representan actualmente el 10% de las que existen en todo el mundo de feldespatos de cualquier tipo, en los apartados siguientes se describen las características geológicas de los yacimientos e indicios más importantes en ambas provincias, resumiéndose aquí, para que sirva igualmente de orientación, la composición media de los otros feldespatos españoles (IGME, 1976):

Región	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O %
Galicia	66	20	0,25	2,4	10,80
Córdoba	64-67	17-21	-	1-10	1-10
Centro	70	14-17	-	2-4	6-8

Los feldespatos de Gerona tienen un 9% de álcali, con un 0,15 a 0,4% de Fe₂O₃.

c) Explotaciones, reservas y recursos de la región

Tal y como se acaba de indicar en el apartado anterior, aparte de la pequeña producción de feldespatos que se extrae de las pegmatitas de Avila y Salamanca, la mayor parte de estos minerales procede de Fuentenebro (Burgos) y Carrascal del Río (Segovia), donde los feldespatos se obtienen como subproducto en la separación del cuarzo.

La utilización de esta materia prima como fuente de feldespato ha surgido precisamente en España, ya que, en Alemania, las arenas feldespáticas son un subproducto del tratamiento del caolín procedente de la alteración de rocas ígneas no completamente alteradas. Además, se da la circunstancia de que, en las arenas españolas, la proporción de feldespato potásico —generalmente microclina— es muy elevada, ya que las plagioclasas de las rocas ígneas originales están sericitizadas o caolinizadas casi por completo. Prueba de ello es la relación K₂O/Na₂O de las arenas, que varía de 4 a 5, en Segovia, y de 14 a 18, en Salamanca.

Aislamic, S. A., que produce el feldespato de Córdoba, es también la propietaria de los yacimientos de Fuentenebro, en Burgos, y de Carrascal del Río en Segovia, este último el más importante de España.

Por otro lado, la Promotora de Recursos Naturales, S. A., del Banco de Bilbao, tiene dos extensos permisos de investigación para arenas feldespáticas en Segovia y Salamanca, los cuales cubren 125.000 y 2000.000 Has., respectivamente. El primero está situado entre Cuéllar, Santa María Real de Nieva, Coca y Cantalejo, y el último entre La Maya y Alaraz, al SSE de Salamanca. Ambos depósitos están formados por arenas sueltas, plio-cuaternarias, de hasta 30 m. de potencia, procedentes de la disgregación del granito del Sistema Central, y constituidos por granos de cuarzo, feldespatos y micas —éstas, muy escasas, corresponden a biotita desferrocada y moscovita—, así como algunos minerales pesados —turmalina, andalucita, epidota, circón y granates—, los cuales tienen de 0,1 a 5 mm. de sección y un grado de rodamiento y esfericidad elevado.

En Salamanca, las arenas tienen un elevado contenido en álcalis —K₂O, 14%; Na₂O, 1%—, lo que prueba su excelente calidad. Sin embargo, desde el punto de vista de la explotación, habrá que tener en cuenta que contienen algunos cantos rodados y hasta un 30% de arcillas, lo que unido al hecho de que están parcialmente cubiertas por las rañas, dificultará un poco su extracción a cielo abierto.

De todo lo dicho anteriormente, se puede afirmar que España no ha desarrollado aún su capacidad de producción de feldespato, ya que hasta hace muy poco tiempo las explotaciones eran de tipo familiar y artesanales. En realidad, las reservas de feldespato existentes tanto en las pegmatitas como, sobre todo, en las arenas arcósicas justifican plenamente la instalación de explotaciones de gran envergadura.

d) El yacimiento de Carrascal del Río (Segovia)

El yacimiento, situado junto a la presa de Burgomillodo, en el río Duratón, es propiedad de INCUSA (Industrias del Cuarzo S.A.), una filial de Cristalera Española, y entró en producción en 1973 para la obtención del cuarzo. Posteriormente, los feldespatos separados como subproducto se utiliza-

ron como fundente en la fabricación de vidrio, ya que los espumantes empleados durante la flotación producían burbujas que impedían usar el mineral en la industria cerámica. Sin embargo, en 1979, se ha vendido una parte de los concentrados con este fin, por lo que parece que el problema planteado por los espumantes ha sido resuelto.

La formación mineralizada es de edad pliocena, cubre 25.000 Has. y tiene hasta 30 m. de potencia. La composición media del producto vendible es la siguiente:

SiO ₂	64,41 %
Al ₂ O ₃	17,15 %
Fe ₂ O ₃	0,13 %
CaO.....	0,56 %
MgO.....	0,08 %
Na ₂ O.....	2,90 %
K ₂ O.....	11,13 %
BaO.....	0,12 %
Pérdida al fuego.....	0,52 %
Total.....	100,00

En general, las arenas son de excelente calidad, los feldespatos recuperables ascienden al 30% de las reservas totales del yacimiento, y el contenido en volátiles es muy alto, especialmente el K₂O, ya que los valores oscilan, para este último, entre el 10 y 12%, y para el Na₂O, entre el 2 y 3%. Además, el yacimiento no tiene cobertura y se puede explotar todo él a cielo abierto.

E) Cuarzo y arenas silíceas

a) Generalidades

Tanto el cuarzo como la sílice y las arenas silíceas, sustancias todas que se explotan en muchas localidades españolas, pero especialmente en el Norte, desde Galicia al País Vasco, constituyen la materia prima de industrias tan importantes y en continua expansión como son las del vidrio y cerámica en sus numerosas variedades —refractarios, abrasivos, fundición, construcción y obras públicas—, y en el caso del cuarzo, para ópticas especiales y, si es piezoeléctrico, para la industria electrónica.

Dada la abundancia y calidad de los yacimientos españoles de estas sustancias, la problemática del sector radica más en la modernización de las plantas de tratamiento y en la regulación de los canales de comercialización que en las incidencias derivadas de la explotación o descubrimiento de nuevos yacimientos.

b) Los yacimientos de la región en el contexto nacional

Dentro de este apartado, se han incluido los datos estadísticos correspondientes a las explotaciones de *cuarzo cristalino*, *arenas silíceas* y *tierra de diatomeas* (Fig. I.2.M.23). De estas tres sustancias, la tierra de diatomeas, trípoli o kieselgur, que con todos estos nombres se la conoce en España, no tiene yacimientos en la región Castellano-Leonesa. Los depósitos más importantes se encuentran en las provincias de Jaén, Albacete, Alicante y Sevilla, y si no son de excelente calidad, si son al menos muy extensos.

Por lo que se refiere al cuarzo cristalino, éste se explota fundamentalmente en el noroeste de España, principalmente en La Coruña, León, Zamora y Burgos. Los principales productores son Rocas, Arcillas y Minerales, S. A., cuyo principal yacimiento está cerca de El Ferrol (La Coruña), que exporta más del 50% de su producción a los países escandinavos para la fabricación de ferrosilicio y silicio metal, y Aislamic Silicatos Ibéricos, S. A., que produce cuarzo en Fuentenebro (Burgos).

Otros cuarzoes filonianos de rocas ígneas y metamórficas se explotan también para las industrias nacionales de vidrio y cerámica en las provincias de Pontevedra, Orense, Gerona, León y Burgos, y en menor proporción y esporádicamente, en las de Zaragoza, Guadalajara, Salamanca, Cáceres y Sevilla.

En cuanto a los yacimientos de arenas silíceas, éstos se encuentran fundamentalmente en el Cuaternario, Plioceno, Mioceno, Oligoceno y Cretácico, si bien hay algunas areniscas metamórficas del Arenig y del Cámbrico que llegan a alcanzar contenidos medios del 96 % de SiO_2 .

Los principales centros productores están en las zonas de Ribadesella-Llansá (Oviedo), Arijá San Vicente-Cabañas de Virtus (Burgos), Arraya (Alava), Balaguer (Lérida), San Pedro de Ribas (Barcelona) y Arcos de la Frontera (Cádiz), siendo las plantas más importantes la de Sibelco Española, S. A., en Burgos, y la de INCUSA, S. A., una filial de Cristalera Española, en Segovia. Además, tal y como se indicó al tratar del caolín y de las arenas feldespáticas, algunos yacimientos del centro de España producen caolín y arenas silíceas a partir de depósitos mixtos. Las dos mayores explotaciones de esta clase pertenecen a Caolines del Norte, en Hontoria del Pinar (Soria), y Caosil Serro, S. A., en Villanueva de Alcorcón (Guadalajara).

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Tal y como se acaba de indicar, las principales explotaciones de la región se encuentran en las provincias de Segovia, Burgos y Soria. A las dos primeras corresponden los yacimientos de Hontoria del Pinar —en el mismo límite con la provincia de Soria— y Fuentenebro, en la provincia de Burgos, así como el de Carrascal del Río, en la provincia de Segovia, de todos los cuales se ha hecho referencia en el apartado dedicado a las arenas feldespáticas. A la provincia de Soria pertenecen los yacimientos mixtos de «La Unión II» y «La Esperanza», los cuales han sido tratados al hablar del caolín.

En cualquier caso, teniendo en cuenta las numerosas y potentes industrias que consumen esta materia prima, se puede esperar un crecimiento de la demanda de sus minerales. Por ello, es importante valorar adecuadamente la posibilidad de ampliar los yacimientos de la región, o bien de encontrar otros nuevos en los que el cuarzo sea, ya el mineral principal, ya un subproducto.

En este sentido, hay que destacar la gran importancia que pueden tener en el futuro los potentes y largos —hasta 12 km.— diques de cuarzo («sierros») del Oeste de la provincia de Salamanca. Por su calidad y enorme tonelaje, son una fuente potencial de gran interés, máxime teniendo en cuenta la proximidad de grandes centros de producción eléctrica —Saucelle, Aldeadávila, Almendra—, los cuales permitirían el tratamiento del silicio en la propia provincia.

F) *Glauberita*

a) *Generalidades*

El sulfato sódico anhidro es una sustancia de uso cada vez más frecuente en España, concretamente en la industria química, especialmente en la fabricación de detergentes (56 %), sulfuro sódico (5 %) y colorantes (2 %). El resto se destina a las fábricas de papel (21 %), vidrio (10 %), productos varios (2 %), y para la exportación (6 %). Aunque ampliamente distribuidos por el mundo, los yacimientos de sulfato sódico no han sido objeto de explotaciones intensivas, ya que esta sustancia se obtiene como subproducto en la fabricación de los ácidos clorhídrico y sulfúrico, del dicromato sódico, fenol y rayón. Sin embargo, los cambios introducidos en la tecnología han dado lugar a un aumento en el consumo del producto natural, y en consecuencia, de los minerales que lo contienen, principalmente la mirabilita, thenardita y glauberita.

En España, único país europeo que posee yacimientos y reservas de sulfato sódico, el 90 % se obtiene a partir de dos minerales: thenardita (Na_2SO_4) y glauberita ($\text{Na}_2\text{Ca}[\text{SO}_4]_2$). La primera, en la provincia de Toledo, y la segunda, en la de Burgos, donde el crecimiento de la producción ha sido muy grande en estos últimos años, ya que la pureza del producto vendible es de grado fotográfico (99,98 %).

La casi totalidad de la producción española se consume por la industria del papel, detergentes y vidrio, y sólo una pequeñísima cantidad se dedica a la exportación.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Aunque existen indicios de antiguas explotaciones de sulfato sódico en numerosas provincias —Madrid y Toledo; Albacete, Murcia y Alicante; y Logroño y Zaragoza—, los dos yacimientos

principales, ambos en explotación, son la mina de thenardita de «El Castellar», situada en Villarrubia de Santiago (Toledo), propiedad de la Unión Salinera de España, S. A., y el yacimiento de glauberita de Cerezo del Río Tirón, en la provincia de Burgos, propiedad de CRIMIDESA (Criaderos Minerales y Derivados, S. A.).

De acuerdo con el IGME (1976), las reservas españolas del sulfato sódico contenido en los minerales de Toledo y Burgos se cifran en unos 30 millones de Tm, las cuales corresponden en una proporción algo mayor a Castilla la Vieja. En esta región los recursos estimados por estudios geológicos y geofísicos superan los 200 millones de toneladas.

Por ello, dadas las posibilidades que existen de encontrar nuevos yacimientos en el Terciario de la Submeseta Norte o de ampliar los que están en explotación, conviene estar preparados ante un eventual crecimiento de la demanda, tanto si ésta se produce en el mercado interior como en el exterior.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

El yacimiento de glauberita de Río Tirón es el único actualmente en explotación en Castilla la Vieja. Se encuentra situado en el paraje de Valdebuñuelos, junto a Cerezo de Río Tirón en la provincia de Burgos, con unas reservas seguras de 78 millones de toneladas, 20 millones probables y 22 posibles.

La mineralización aparece distribuida en cuatro capas de margas miocenas que tienen 2, 8, 4 y 2 m. de potencia en orden descendente, separados entre sí por unas intercalaciones de margas (6 m.), margas y yesos (25-30 m.), y otra capa de los mismos materiales (8-10 m.). Los minerales constituyentes son glauberita (68,5%) y anhídrita (29,4%), el resto son impurezas. El grado de recuperación real del mineral es del 97,8%. En la actualidad sólo se explota la capa de 8 m.

La explotación es a cielo abierto, desmontando la capa superior de estériles, y el mineral vendible tiene una ley del 63 al 65% de Na_2SO_4 . La tecnología utilizada está a la altura de la más avanzada en otros países, por lo que el producto final tiene una calidad que puede competir en cualquier mercado exterior.

G) *Sal común*

a) *Generalidades*

El cloruro sódico (NaCl), que se empezó llamando sal cuando sólo se extraía como un residuo del agua del mar y que pasó a llamarse después sal común, es una substancia de múltiples aplicaciones y absolutamente imprescindible para la vida humana.

España es un importante productor de sal común, obteniéndose ésta de tres fuentes diferentes:

- evaporación de las aguas marinas (sal marina)
- evaporación de los manantiales salinos (sal de manantial)
- explotación de yacimientos salinos (sal gema).

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Para la extracción de sal marina —así como de los otros productos que la acompañan —carbonatos, sulfatos, cloruros y bromuros de Na, Ca, Mg y K— existen en España más de 100 instalaciones en las provincias de Alicante, Cádiz, Baleares y Murcia. De ellos, los más importantes de España, y de Europa son las salinas de Torreveja y la Mata, propiedad de Unión Salinera de España, S. A. y del Estado, que tienen 14 y 7 Km.² de superficie mojada, y 127 y 32 Km.² de superficie hidrográfica, respectivamente.

Las sales de manantial se extraen de unas 30 explotaciones, por lo general pequeñas y de producción muy reducida. Todas ellas se encuentran sobre las manchas triásicas del Keuper, en cuya formación se originan el 90% de los manantiales. El servir de guía de esta formación y, con ello, de indicadores para descubrir nuevos yacimientos de sal gema, es su mayor interés, ya que la producción de sal a partir de esta fuente supone únicamente el 2% del total nacional. Los principales centros productores se encuentran en las provincias de Guadalajara, Alicante y Alava, que contribuyen aproximadamente con el 30, 25 y 20% de la producción española de sal manantial.

Por último, con respecto a la producción de sal gema, los centros productores más importantes son el yacimiento de Polanco, propiedad de Solvay y Cía., S. A., situado en un diapiro del Keuper, cerca de Torrelavega, en la provincia de Santander; los de Remolinos y Torres de Berellén, de Industrial Salinera Aragonesa, S. A., que se encuentran en el Mioceno cerca de Zaragoza; y el del Cerro de la Sal de Pinoso, situado 50 Km. al N. de Alicante, propiedad de Salinas de Torre vieja, S. A., que corresponde a un diapiro del Keuper no arrasado por la erosión y cuyas reservas seguras ascienden a 344 millones de toneladas, siendo las probables de 688 millones. Además, una cierta cantidad de sal común es extraída por Potasas de Navarra como subproducto de la explotación de las sales potásicas eocenas de la Sierra del Perdón, cerca de Beriaín, en la provincia de Navarra.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Por lo que se refiere a la región Castellano-Leonesa, las únicas fuentes de sal común, como es lógico, son las de sal manantial y sal gema.

Las de sal manantial se reducen a las explotaciones «Eloisa» y «Santiago» que constituyen las llamadas salinas de Medinaceli, situadas junto a esta localidad. La capacidad de producción ha llegado a ser de 1.300 t. año, si bien en estos últimos tiempos la producción ha decrecido notablemente.

En cuanto a los yacimientos de sal gema, solamente existen dos pequeñas explotaciones: las salinas «Hoyuelo» y «Traseastro», situadas en el Keuper, en el término municipal de Poza de la Sal, en la provincia de Burgos, en los que la producción ha tendido a incrementar en estos últimos años.

Sin embargo, a pesar de la existencia de estos indicios, no existen muchas posibilidades de ampliar la producción, ya que la competencia de los restantes productores nacionales es muy fuerte.

H) *Yeso*

a) *Generalidades*

El yeso, nombre con el que se designan simultáneamente el mineral CaSO_4 y el producto industrial obtenido a partir de él, se ha venido utilizando como uno de los mejores aglutinantes desde los tiempos más antiguos. Así, de los egipcios pasó a los griegos y romanos, para decaer su uso con el derrumbamiento del Imperio, hasta el siglo XVII, en que se empezó a utilizar masivamente para la construcción en la cuenca de París. La excepción en toda esta época fue el uso que hicieron de él los árabes para la decoración de sus palacios.

A partir del siglo XVIII, el yeso se empleó con un ritmo continuo y creciente en la industria de la construcción, cuando los EE.UU. introducían su empleo como corrector agrícola y material anticombustible, para adquirir su mayor importancia desde mediados del siglo XX al descubrirse su utilidad como fertilizante y en la industria química, y sobre todo como retardador en el fraguado del cemento Portland.

El sulfato cálcico se presenta en la naturaleza bajo dos formas principales: el *yeso* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la *anhidrita* (CaSO_4). Una variedad del yeso que tiene interés especial es el *alabastro*, granudo y ligeramente translúcido y masivo, que se emplea especialmente en decoración.

Las normas españolas para la comercialización del yeso y la escayola tienen en cuenta el contenido mínimo en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Tabla I.2.3), el tamaño de los granos de yeso (Tabla I.2.4), y el agua mínima de cristalización (Tabla I.2.5). En este sentido, la humedad tiene que ser inferior al 4% en cualquiera de las clases, y el porcentaje en cuerpos extraños no puede sobrepasar el 0,1%.

Tabla I.2.3

Clase	Contenido mínimo en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (%)
I extra	95
I	90
II	80
III	70
IV	60

Tabla I.2.4

Tipo	Tamaño del mineral comprendido entre:
1.....	0 y 20 mm.
2.....	20 y 50 mm.
3.....	50 y 150 mm.
4.....	0 y 150 mm.
5.....	0 y 300 mm.

Tabla I.2.5

Clase	Agua de cristalización mínima (%)
I extra.....	19,88
I.....	18,83
II.....	16,74
III.....	14,65
IV.....	12,56

Por ahora, la producción castellana de yeso se queda prácticamente en la región, ya que los yacimientos de esta substancia son muy importantes y la calidad del yeso excelente en casi toda España, especialmente en el área Mediterránea, Valle del Ebro, Castilla la Nueva y Andalucía.

La mayor parte de la producción española es absorbida por las fábricas dedicadas a la cocción —aproximadamente el 85%—, mientras que las fábricas de cemento consumen sólo el 10%, y el resto las dedicadas a otros usos, especialmente la industria cerámica, que utiliza el yeso como material de moldeo.

Por lo que se refiere al consumo de prefabricados de yeso, éste no alcanza en España el grado de desarrollo que tiene en otros países. Ello se debe a la falta de maquinaria adecuada para su elaboración, lo que impide que se pueda introducir fácilmente en el mercado de la construcción. No obstante, la industria de prefabricados tiene muy buenas perspectivas en nuestro país.

Por lo que se refiere a la posición de España en el mercado extranjero, es de destacar que la producción nacional tiene, incluso ahora mismo, una cierta importancia en el contexto mundial. Sin embargo, aunque España posee abundantes yacimientos de yeso de excelente calidad, situados muchos de ellos cerca de puertos de mar, las exportaciones dignifican únicamente el 4% de la producción nacional. Europa absorbe el 9% de nuestras exportaciones y el resto va casi toda a países africanos. En cualquier caso, es indudable el enorme valor de las reservas y recursos españoles de yeso con vistas a la futura integración de nuestro país en el Mercado Común.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Los yacimientos españoles de yeso están situados en las dos Castillas, Valle del Ebro, Cataluña, Levante y Andalucía. Por lo que se refiere a Castilla la Vieja, los más importantes se encuentran en la cuenca del Duero, concretamente en las provincias de Burgos y Valladolid, si bien en Palencia existen también algunos pequeños afloramientos (Fig. I.2.M.24).

Desde el punto de vista geológico, exceptuando los escasos depósitos existentes en el Trías de los sistemas montañosos que rodean a las depresiones terciarias, la mayor parte de los yacimientos españoles está situada en el Cenozoico, especialmente el Oligoceno y Mioceno. En el caso de la Submeseta Norte de la Meseta Central, es el Mioceno la formación que está más ampliamente representada, tanto en la cuenca del Duero como en la depresión de la Bureba (Fig. I.2.M.25). Esta última, aunque hidrográficamente pertenece al Valle del Ebro, geológicamente forma parte de la depresión del Duero, sirviendo de enlace entre estas dos unidades tectónicas. Por ello, se considera aquí a la Bureba como una prolongación de la depresión del Duero, ya que, además, pertenece administrativamente a Castilla la Vieja.

c) Explotaciones y recursos de la región

Los yacimientos de yeso de la región Castellano-Leonesa se encuentran en las facies margo-yesíferas del Terciario de la Cuenca del Duero, concretamente en las proximidades de Iscar (Valladolid), Torquemada (Palencia) y Cerezo del Río Tirón (Burgos). (Fig. I.2.M.26).

Los yesos alternan con margas, arcillas y calizas, dando lugar todas estas rocas a las *cuestas*, situadas entre el fondo de los *valles* y las *calizas de los páramos*. El nivel yesífero está muy próximo y a unos 10 m. por debajo del nivel de estas últimas, y recorre horizontalmente todos los escarpes del área central de la cuenca del Duero.

Los materiales terciarios son predominantemente de edad miocena, aunque hay algunos afloramientos oligocenos. El Mioceno ocupa la casi totalidad de la Depresión del Duero, pudiéndose distinguir en él dos facies principales: una de *borde o marginal*, fundamentalmente detrítica, y otra *central*, de origen fundamentalmente químico y evaporítico.

Las facies marginales pertenecen al Vindoboniense inferior y medio, y están constituidas por arcillas arenosas que alternan con areniscas y conglomerados, y que se apoyan en discordancia sobre los materiales cretácicos y paleogéneos. Las facies centrales se depositan en concordancia sobre las facies marginales y pertenecen también al Vindoboniense. Están formadas por arcillas ocre, amarillentas y rojizas, más o menos arenosas, que contienen intercalaciones de areniscas y conglomerados.

Tanto sobre las facies de borde como sobre las marginales, se disponen las facies del *tramo intermedio*, horizontal y concordante con las anteriores, y cuya edad ha sido atribuida de Vindobonien superior-Pontiense inferior. Estas facies son la *margo-yesífera*, que ocupa el centro de la cuenca, y la *margo-caliza*, que representa el paso de la anterior hacia los bordes. La facies *margo-yesífera*, portadora del yeso, está constituida por margas blancas, margas yesíferas y margas calcáreas, así como por algunos niveles de calizas margosas y otros puramente arcillosos.

Por encima de las facies del tramo intermedio se extienden, concordantes, las calizas de los páramos. De edad pontiense, da lugar esta formación a una plataforma situada entre 900 y 1.000 m. de altitud constituida por calizas blancas o grises, frecuentemente cavernosas, en la que existen abundantes arcillas de decalcificación.

Por último, sobre todas las formaciones anteriores, se encuentran el Plioceno —representado por las *rañas*, de potencia muy variable, constituidas por cantos de cuarcita envueltos por arcillas arenosas— y el Cuaternario, formado esencialmente por terrenos aluviales.

Todos los yacimientos de yeso de Castilla la Vieja —aparte de unos bancos de escasa potencia que existen en las proximidades de Burgos, en el área de Villatoro— se encuentran en la facies cuarzo-yesífera de la cuenca del Duero. La potencia media del nivel es escasa, entre 3 y 5 m, no sobrepasando en ningún caso los 10 m. Las zonas donde alcanza mayor potencia es en las inmediaciones de Palencia, en el área del Cerrato, donde existe un banco explotable que tiene entre 6 y 8 m. de potencia, y al sur de Valladolid, en la zona Iscar-Quintanilla, donde el nivel yesífero tiene una potencia de 3 a 5 m. El tramo es de naturaleza cuarzosa, algo arenosa, y el contenido medio en yeso no sobrepasa en ningún caso el 60%. El método de extracción es generalmente subterráneo, por cámaras y pilares, aunque a veces se explotan a cielo abierto.

El Instituto Geológico y Minero de España realizó en 1976 un estudio sectorial de los yesos de la Depresión del Ebro y Cuenca del Duero que forma parte del Plan Nacional de Investigación Minera, y que es continuación de los ya realizados en la zona Centro, Cataluña, Sudeste y Levante. En él se pueden encontrar los datos demostrativos del interés que tiene Castilla la Vieja como productor potencial de yeso. Interés que, aún siendo claramente menor que el de Castilla la Nueva y el Valle del Ebro, no deja de tener importancia pensando en el futuro de este sector como consecuencia de la incorporación de España al Mercado Común.

De acuerdo con este estudio, se resumen a continuación las principales características geológicas de las tres zonas más interesantes de la región.

d) Zona de Iscar (Valladolid)

Se encuentra en casi su totalidad en la provincia de Valladolid, si bien, una pequeña parte, situada al NE de Iscar, pertenece a la provincia de Segovia.

El tramo yesífero se encuentra en el Mioceno, en unas margas y margas areniscosas del Vindoboniense cuya potencia total es de unos 80-100 m. El yeso aparece asociado a margas y arcillas en forma de pequeños o grandes cristales, a veces de grandes dimensiones, que dan lugar a un nivel explotable cuyo espesor varía entre 3 y 5 m. Por encima del nivel margoso hay otro más calcáreo por el que se pasa a las calizas de los páramos.

Salvo tres explotaciones, ubicadas en Quintanilla, Cogeces y Arrabal, que se trabajan a cielo abierto, el resto son labores subterráneas. La ley media de los sondeos de reconocimiento efectuados por el IGME en la zona es de 45% de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, estimándose que las reservas de yeso son superiores a $200 \times 10^6 \text{ m}^3$.

e) *Zona de Torquemada (Palencia)*

Se encuentra enclavada en la provincia de Palencia, unos 15 km. al Este de la capital. La estructura geológica es análoga a la de Iscar, pero los sondeos realizados indican una ley media del 60%, con unas reservas superiores a los $200 \times 10^6 \text{ m}^3$.

f) *Región de la Bureba (Burgos)*

La zona yesífera está situada en la provincia de Burgos, entre la Sierra de la Demanda, al Sur; las formaciones de la Cuenca Cantábrica, al Norte; los Montes de Oca, al SO; y el límite de las provincias de Burgos y Logroño, al Este.

Los materiales geológicos son también miocenos, aunque aquí hay retazos de Oligoceno. En el Mioceno existen facies detríticas o de borde y evaporíticas o centrales, siendo en estas últimas donde se encuentra el yeso, concretamente en la facies de Briviesca-Belorado.

En esta región, el tramo mineralizado, que alcanza un gran desarrollo, está formado por niveles horizontales de yeso que alternan con otros de margas, y sobre los cuales aparece directamente el Plioceno, cuando éste existe.

Los sedimentos yesíferos explotables tienen una potencia total de 100-150 m., dando lugar a una serie de cerros que se podrán trabajar a cielo abierto, y que están separados por los valles excavados por pequeños arroyos y por los ríos Tirón, Oca, Vallarta y Arte.

La calidad de los yesos de esta zona es superior a la de los yesos del valle del Duero, con un contenido medio en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ del 80%, pero que podría llegar al 95% con una previa selección de bancos. En cuanto a las reservas, éstas son enormes, ya que la superficie ocupada por los yesos es muy extensa y la potencia considerable, especialmente en la zona de Cerezo de Riotirón.

2.4. PRODUCTOS DE CANTERA

Las rocas industriales tienen gran importancia en la minería del país y concretamente en la de la región Castellano-Leonesa. Unas veces constituyen materias primas de aplicación inmediata, otras veces lo son después de aplicarles ciertos procesos de transformación.

Por lo que se refiere a la región, las sustancias explotables que se incluyen en este apartado son las siguientes:

- | | |
|------------------|----------------------|
| A) Turba | E) Cuarzitas |
| B) Arena y grava | F) Granito y pórfido |
| C) Areniscas | G) Mármol |
| D) Caliza | H) Pizarra. |

A) *Turba*

La turba, el carbón natural más reciente, formado por sustancias vegetales poco carbonizadas y con un contenido en carbono generalmente inferior al 50%, tiene un escaso poder calorífico y por ello no se suele emplear como combustible, sino como abono con fines hortícolas. Sólo en aquellos países

fríos, húmedos, y con abundante vegetación —que son las condiciones requeridas para la formación de la turba—, donde existen yacimientos importantes, tiene esta substancia aplicaciones domésticas, briquetada o pulverizada, para el encendido de calderas, o bien para el funcionamiento de pequeños gasómetros y para la producción de electricidad. Este es el caso de Irlanda, la Unión Soviética, los países escandinavos, Inglaterra, Alemania y EE.UU.

En España, la turba sólo se explota en la provincias de Huelva, Granada y Burgos, donde se encuentra el único yacimiento de la región Castellano-Leonesa. Pero, dado lo reducido de las reservas, ni la escasa producción actual ni la que se puede prever para el futuro hacen pensar que las explotaciones vayan a adquirir mayor importancia.

B) *Arena y grava*

Se incluyen bajo esta denominación todos los materiales sedimentarios que se utilizan como áridos en la construcción. Por ello, en la estadística minera no se diferencian los diversos tipos de productos —arena, gravilla, garbancillo (especial y corriente), grava y morro— empleados para la fabricación de hormigones hidráulicos, morteros y prefabricados, ni de las arenas utilizadas para la preparación de hormigones asfálticos.

Los datos sobre el consumo y las fuentes originales para la producción de áridos están contenidos en el tomo 24 del PNEM (1971).

C) *Arenisca*

a) *Generalidades*

Junto con las calizas, los granitos y los mármoles, son las areniscas las rocas más utilizadas en construcción, si bien, por su menor dureza y cohesión, estas rocas se emplean hoy casi exclusivamente para la ornamentación de edificios, mientras que su uso para la fabricación de otros materiales o como elementos resistentes en la construcción y en obras públicas es muy rara en la actualidad.

Dado que las areniscas son relativamente fáciles de labrar, que tienen generalmente colores muy homogéneos y agradables, e incluso, cuando son porosas, texturas abigarradas que las hacen muy atractivas, estas rocas se han venido empleando en la construcción de edificios monumentales desde la más remota antigüedad.

Las areniscas son rocas formadas fundamentalmente por granos de cuarzo reunidos por un cemento de naturaleza variable. De acuerdo con su composición, se clasifican las areniscas en: silíceas, de color obscuro, que corresponden generalmente a grauwacas, utilizadas por su gran resistencia y dureza en ingeniería y arquitectura; calcáreas, de color amarillento o verdoso, blandas y poco resistentes; arcillosas, de colores irisados y poco resistentes a la meteorización; margosas, de colores claros algo más resistentes que las anteriores; y ferruginosas, de colores muy abigarrados y de resistencia variable. Siendo de destacar que entre las areniscas calcáreas y las calizas arenosas que se tratan en el apartado siguiente hay todos los términos de transición.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Por lo que se refiere a los yacimientos españoles, casi todas las canteras de arenisca se encuentran en formaciones mesozoicas, especialmente en el Eoceno y Oligoceno. Algunas están en el área mediterránea, en la provincia de Alicante, y en Andalucía, pero las más importantes se encuentran en las provincias de Burgos, Palencia y Salamanca, especialmente en esta última, ya que las de Avila, muy utilizadas en tiempos pasados, están hoy inactivas.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

De las areniscas en explotación en la región Castellano-Leonesa, las de mayor interés son las de la provincia de Salamanca, utilizadas intensamente en la edificación de la ciudad. Consecuencia de este interés y del agotamiento de las canteras existentes, ha sido el desarrollo de un plan previo de

investigación efectuado por el Departamento de Geología y Mineralogía de la Universidad de Salamanca para el Instituto Geológico y Minero de España. Los resultados de este trabajo se resumen en el apartado siguiente.

d) *Las areniscas de Villamayor (Salamanca)*

El uso de la «piedra dorada» de Salamanca, utilizada desde muy antiguo en la construcción de los pueblos de la provincia situados en las áreas donde aflora el Terciario continental, conoció una explotación masiva durante los siglos xv, xvi y xvii para la construcción de los edificios y grandes monumentos de la capital. Ello ha dado lugar al agotamiento casi completo de las canteras, situadas junto al pueblo de Villamayor, a 5 km. de la capital.

Desde el punto de vista mineralógico, las rocas explotables corresponden a areniscas feldespáticas o arcósicas e intraesparitas, constituidas fundamentalmente por cuarzo y, en menor proporción, por feldespatos y moscovita, reunidos por un cemento en el que aparecen accidentalmente los siguientes minerales pesados: granates, turmalina, clinozoisita-epidota, biotita, moscovita, esfena, rutilo, circón y distena, los cuales indican que el área fuente fue el zócalo ígneo y metamórfico.

Por lo que se refiere al cemento, que es, en definitiva, el elemento que decide el comportamiento de la roca frente a los agentes atmosféricos, puede ser detrítico o carbonatado. En el primer caso, los componentes esenciales son cuarzo, illita, montmorillonita e interestratificados, con caolinita y feldespatos en menor proporción. En el segundo caso, los carbonatos pueden ser calcita y dolomita, aunque, por lo general, la cantidad de Mg. en la roca es inferior al 1%.

Hay que destacar además, la presencia frecuente en el cemento de óxidos de hierro. Si el contenido de ellos es bajo, la roca adquiere con el tiempo una pátina característica que contribuye a su embellecimiento. Ahora bien, si es muy grande, enrojece mucho la roca y la calidad decrece considerablemente.

Las areniscas explotables forman bancos más o menos continuos o lenticulares en los sedimentos del Eoceno, concretamente del Luteciense Medio y Superior, intercalados en una serie estratigráfica compuesta de limos, areniscas y conglomerados.

Las zonas más favorables para ampliar las canteras, pensando no sólo en el abastecimiento de la provincia sino en la posible exportación a otros puntos de España y la región (Fig. I.2.M.27), son las de Villamayor (zona A), Aldearrubia (zona B), y la de Valverdón (zona C). En cualquier caso, una buena parte de La Armuña, región que ocupa y se extiende al N. de la zona B, puede ser considerada como reserva de esta piedra de construcción.

D) *Caliza*

La caliza, bien sea directamente, como materia prima, o indirectamente, como parte integrante de algún proceso industrial, es una de las sustancias más importantes para la vida humana. Sus numerosas aplicaciones corresponden principalmente a alguno de estos sectores: industria metalúrgica, industria química, construcción, y agricultura. Hay que advertir, sin embargo, que algunas calizas, por su relativamente alto grado de recristalización, son capaces de adquirir pulimento y se han incluido en el apartado G) junto con los mármoles.

Los yacimientos de calizas se encuentran en casi todas las regiones españolas (Fig. I.2.M.28), especialmente en el Norte y en la mitad oriental de nuestro país. En Asturias, que produce el 25% del total, se encuentra la mayor cantera de España, la de ENSIDESA, que alcanza una producción superior a los 2.000.000 t./año. Cataluña produce alrededor del 20%, y Barcelona, con el 15%, es el primer productor a nivel provincial, seguida de Vizcaya, que produce cerca del 10%. De acuerdo con la media de estos últimos años, el consumo español de caliza se reparte de la siguiente forma (IGME, 1976):

Fabricación de cemento.....	21,83 %
Cementos naturales, caleras y yesos.....	1,50 %
Aridos para hormigón.....	28,79 %
Industria siderometalúrgica.....	2,95 %
Azúcares.....	0,40 %

Industria química.....	1,45%
Industria del vidrio.....	0,11%
Abonos.....	0,27%
Piedra natural.....	0,23%
Rellenos, cargas y blanqueantes.....	0,05%
Firme de carreteras.....	30,79%
Balasto para ferrocarril.....	2,93%
Otros usos.....	8,62%
Total.....	100,00%

Por lo que se refiere a la región Castellano-Leonesa, todas las provincias, salvo Zamora y Avila, tienen explotaciones, aunque en Salamanca solamente hay una en la actualidad. En Burgos y Palencia, sin embargo, las explotaciones son bastante numerosas, siendo suficientes las que existen para atender a las necesidades de la región.

E) *Cuarcita*

Sólo una explotación de cuarcitas está en funcionamiento en la región Castellano-Leonesa y, como casi todas las de esta clase, se dedica a la producción de balasto para los ferrocarriles y firmes de carretera.

En cualquier caso, tanto Salamanca como Zamora, especialmente esta última, poseen formaciones de cuarcitas ordovienses y cámbricas con reservas suficientes para poder atender cualquier aumento de la demanda.

F) *Granito y Porfido*

a) *Generalidades*

Junto con los mármoles, son las rocas graníticas en sentido amplio —granitos, dioritas, sienitas y pórfidos— las piedras ornamentales más utilizadas en España, donde existen materiales de excelente calidad, especialmente en Galicia, Sistema Central, Sierra Morena y Extremadura (Fig. I.2.M.29).

Aparte de su empleo como elemento decorativo, el granito se utiliza también, como árido de machaqueo, para la fabricación de materiales tales como terrazos, balasto y hormigón, y como elemento resistente en la construcción, especialmente cuando la roca es compacta, de grano fino y textura homogénea, y no tiene grietas ni materias extrañas incorporadas.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Los más importantes se encuentran en Galicia, de donde salen los tipos de granito más famosos y de mayor aceptación en nuestro país: el *albero*, de Friol (Lugo) y Tuy (Pontevedra); el *rosa*, de Porriño (Pontevedra); el *gris*, de Meis y Villagarcía de Arosa (Pontevedra); y el *negro*, de Portomarín (Lugo).

Fuera de estos granitos y de los del Sistema Central —donde hay algunas explotaciones importantes, tales como las de Cáceres y Toledo, y muy especialmente las de granito gris de Villalba, El Berrocal y Alpedrete, por su proximidad a Madrid—, tienen también interés el granito *verde*, de Huelva, y el *rojo* de Sevilla.

En cuanto a los pórfidos, estas rocas constituyen, por su espectacular textura y colorido, una de las rocas más apreciadas en construcción. En España, sin embargo, la producción de esta roca con fines ornamentales es muy reducida, siendo los tipos más conocidos los *pórfidos rojos* de Córdoba y los graníticos, *negros* y *grises*, de Zamora.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Dentro del Sistema Central, son notables los granitos *grises de Avila*, en Mingorría, y el *gris de los gabarros* y de alta calidad, de Villacastín, así como los de algunas canteras aisladas de Salamanca.

En cualquier caso, como los años de fuerte demanda han pasado dada la baja sensible en las construcciones de tipo turístico y de lujo, es de prever que, con la competencia de otros granitos

españoles, los de la región Castellano-Leonesa van a tener dificultades para su comercialización. Sólo la exportación y la mecanización podrían paliar, en parte, la crisis de este sector.

Por lo que se refiere a los pórfidos, la mayoría, y entre ellos los de Zarzalejo, en la provincia de Avila, se explotan por la RENFE para balasto, por lo que su consumo está perfectamente delimitado y no se pueden esperar aumentos espectaculares de la demanda en este sector.

G) *Mármol*

Aunque el mármol se emplea muy frecuentemente en edificaciones con fines ornamentales, no se caracteriza la región Castellano-Leonesa ni por la abundancia ni por la calidad de sus materiales. De hecho, la mayor parte de las rocas carbonatadas que se vienen utilizando desde muy antiguo, y ampliamente, en la construcción, en las provincias de Palencia, Burgos, Soria y Valladolid, son calizas, tanto del Cretácico como del Pontense, y, como tales, se han incluido en el apartado correspondiente.

Sólo en la provincia de Palencia se puede decir que las calizas han sufrido metamorfismo para poder ser consideradas como mármoles, ya que, en realidad, casi todas las rocas españolas de esta clase son calizas más o menos recristalizadas (Fig. I.2.M.30). Los verdaderos mármoles sólo se encuentran en el Cámbrico de Alconera, en la provincia de Badajoz, y en el Trías de las provincias de Málaga y Almería, especialmente en Macael, donde se extraen dos famosas variedades: unas *blancas*, casi tan buenas como las de Carrara, y otras *grises*, de un tono ligeramente azulado.

H) *Pizarras*

a) *Generalidades*

España posee variados tipos y abundantes reservas de pizarras repartidas por todo su territorio. Aunque hasta ahora no ha sido debidamente evaluadas, es uno de los países europeos que cuenta con un mayor volumen potencial de estos materiales.

El uso al que se destinan las pizarras españolas es muy variado: ornamental, para techados, pavimentos y otras aplicaciones, en la construcción; industrial, para fabricar cuadros de control, interruptores e instalaciones eléctricas y de laboratorio; para la fabricación del cemento; y como aglomerante en mezclas asfálticas, aislantes, terrazos, pinturas, plásticos, gomas y caucho.

Las pizarras regulares —rocas metamórficas de naturaleza arcillosa, grano muy fino y perfecta exfoliación— que se emplean para el recubrimiento de edificios, son las de mejor calidad y proceden casi todas de Galicia y León, y en menor proporción de Segovia, de donde salen el 98% de las exportaciones españolas hacia Europa. La producción procedente de otras áreas, tales como Cáceres, Málaga y Barcelona, es de inferior calidad, y se usa principalmente en las fábricas nacionales de cemento y agregados de roca triturada. Aproximadamente 175.000 t. se consumen al año en las fábricas de cemento y 650.000 t. en la preparación de agregados, parte de los cuales son exportados a Francia.

En cualquier caso, dada la calidad y cantidad de las pizarras españolas, la potencialidad de las reservas existentes en la zona Centro-Oeste, y la creciente demanda de las calidades ornamentales, quizá hayan de tener que hacer frente a un posible aumento del mercado exterior como consecuencia de la eventual incorporación de España al Mercado Común, ya que Francia, Bélgica y Alemania, junto con la URSS, son los principales destinatarios de nuestras exportaciones.

b) *Los yacimientos de la región en el contexto nacional*

Las zonas productoras más importantes de nuestro país (Fig. I.2.M.31) se encuentran en las siguientes regiones: Galicia (Barco de Valdeorras, Sobradelos y Quiroga), León (El Bierzo y la Cabrera), Cataluña (Barcelona, Gerona y Tarragona), Extremadura (Cáceres y Badajoz); Levante (Castellón) y Andalucía (Málaga). Además, en Zamora, Salamanca, Asturias, Huesca y Guadalajara han existido explotaciones que en algunos casos tienen todavía reservas interesantes.

Desde el punto de vista geológico, los yacimientos de pizarras se encuentran todos en formaciones paleozoicas, especialmente en las de edad cámbrica, ordovícica y silúrica, que se extienden desde Galicia a Salamanca siguiendo el arco hercínico por León, borde occidental de Asturias y sector noroccidental de Zamora.

c) *Explotaciones, reservas y recursos de la región*

Actualmente, la producción de la región Castellano-Leonesa es muy reducida, y consiste en algunas pequeñas explotaciones en las provincias de Zamora y Segovia dedicadas todas a la producción de pizarras de techar.

En cualquier caso, el potencial no es malo, pero al comercializar las producciones a nivel regional y carecer de tecnología adecuada, la explotación y elaboración de las pizarras ha dejado de ser competitiva en la región, al menos por ahora.

REFERENCIAS

- Arribas, A. (1963). *Mineralogía y metalogenia del yacimiento uranífero de Valdemascaño, Lumbrales (Salamanca)*. Bol. Inst. Geol. Min. España, 70, pp. 25-45.
- Arribas, A. (1964). *Mineralogía y metalogenia del yacimiento uranífero de Villar de Peralonso (Salamanca)*. Est. Geol., 20, pp. 149-169.
- Arribas, A. (1970). *Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca*. Suvd. Geol., 1, pp. 7-45.
- Arribas, A. (1972). *Distribución geoquímica de los elementos en trazas en los yacimientos españoles del tipo BGPC*. Fund. Juan March, Madrid (en prensa).
- Arribas, A. (1975). *Caracteres geológicos de los yacimientos españoles de uranio*. Stvd. Geol., 9, pp. 7-63.
- Arribas, A. (1978). *Mineral paragenesis in the Variscan metallogeny of Spain*. Stud. Geol., 14, pp. 223-260.
- Arribas, A. (1979a). *Le gisement de tungstene de Barruecopardo*. Chron-Rech. Min., 450, pp. 42-49.
- Arribas, A. (1976b). *Les gisements de tungstene de la zone de Morille*. Chron. Rech. Min., 450, pp. 27-34.
- Arribas, A. y Moro, C. (1980). *Los yacimientos estratiformes de barita de la provincia de Zamora*. Tecniterrae (en prensa).
- Centro de Estudios de la Energía (1977). *Inventario de recursos nacionales de carbón: zona Guardo-Barruelo*. Ministerio de Industria, Madrid.
- Instituto Geológico y Minero de España (1976). *Los minerales y rocas de aplicación industrial en España*. Ministerio de Industria, p. 121.
- Programa Nacional de Explotación Minera (PNEM) (1971). *Minería de combustibles sólidos*. Inst. Geol. Min. España, 17, p. 219.
- Programa Nacional de Explotación Minera (PNEM) (1971). *Minería del hierro*. Inst. Geol. Min. España, 18, p. 167.
- Programa Nacional de Explotación Minera (PNEM) (1971). *Minería del plomo y cinc*. Inst. Geol. Min. España, 20, p. 230.
- Programa Nacional de Explotación Minera (PNEM) (1971). *Minería de minerales metálicos varios*. Inst. Geol. Min. España, 21, p. 300.
- Programa Nacional de Explotación Minera (PNEM) (1971). *Minería de minerales radiactivos*, 22, p. 116.
- Programa Nacional de Explotación Minera (PNEM) (1971). *Minería de minerales no metálicos*, 23, p. 422.
- Programa Nacional de Explotación Minera (PNEM) (1971). *Minería de rocas industriales*. Inst. Geol. Min. España, 24, p. 215.
- Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM) (1971). *Programa sectorial de investigación de minerales radiactivos*. Inst. Geol. Min. España, 12, p. 141.
- Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM) (1971). *Programa sectorial del hierro*. Inst. Geol. Min. España, 13, p. 233.
- Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM) (1972). *Programa sectorial de investigación de minerales de plomo y cinc*. Inst. Geol. Min. España, 14, p. 225.
- Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM) (1971). *Programa sectorial para la investigación de otros minerales*. Inst. Geol. Min. España, 15, p. 419.
- Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM) (1976). *Estudio sectorial de los yesos de la zona Duero-Ebro*. Inst. Geol. Min. España, Madrid.
- Querol, R. (1969). *Petroleum exploration in Spain*. Conf. de la Am. Assoc. Petr. Geol., Brighton, p. 23.
- Vázquez, F. (1978). *Depósitos Minerales de España*. Inst. Geol. Min. España, Madrid, p. 158.

Fig. 1. m. 1.
ESQUEMA GEOLÓGICO
DE LA REGION
CASTELLANO - LEONESA

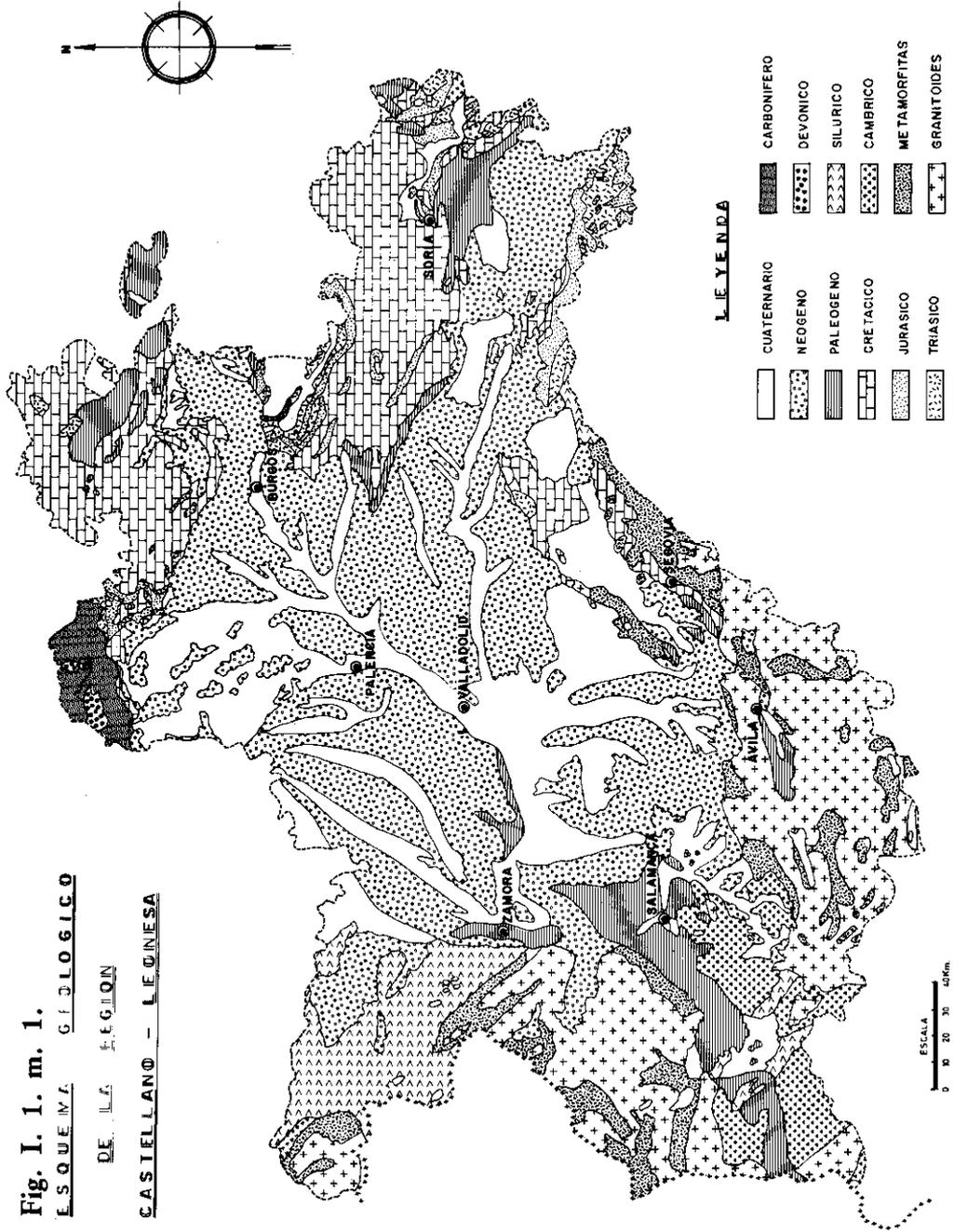
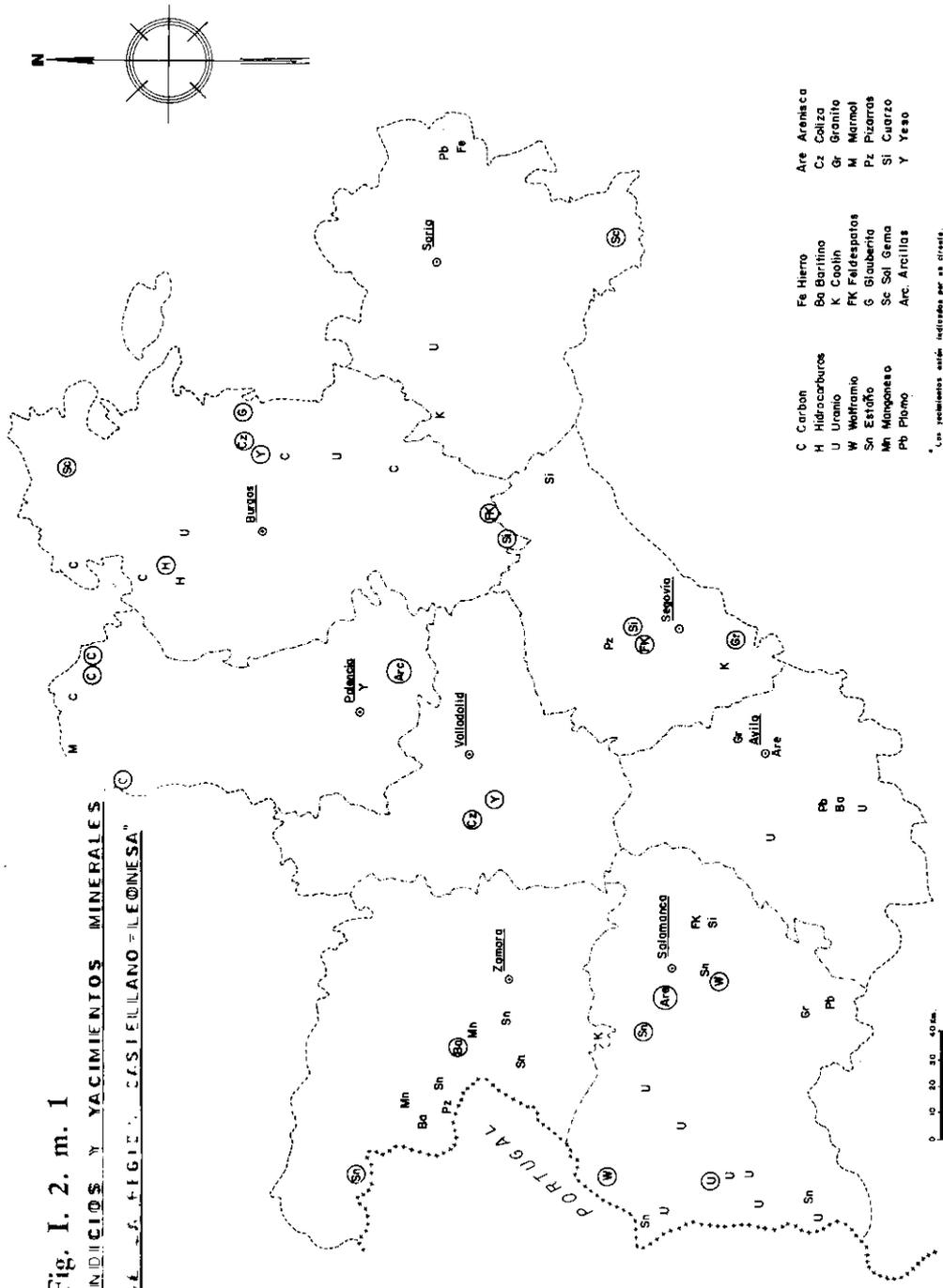


Fig. I. 2. m. 1

"INDICIOS Y YACIMIENTOS MINERALES
 DE LA REGIÓN CASTELLANO-LEONESA"



- | | | |
|-----------------|---------------|--------------|
| C Carbon | Fe Hierro | Are Arenisca |
| H Hidrocarburos | Ba Barilino | Cz Caliza |
| U Uranio | X Caolín | Gr Granito |
| W Wolframio | Pk Faldspatas | M Marmol |
| Sn Estafío | G Glauberga | Pz Pizarra |
| Mn Manganeso | Sc Sol Gema | Si Cuarzo |
| Pb Plomo | Arc Arcillas | Y Yeso |

* Los yacimientos están indicados por un círculo.

0 10 20 30 40 km.
 ESCALA

Fig. I. 2. m. 2: SITUACION DE LAS PRINCIPALES AREAS ESPAÑOLAS PRODUCTORAS DE CARBON

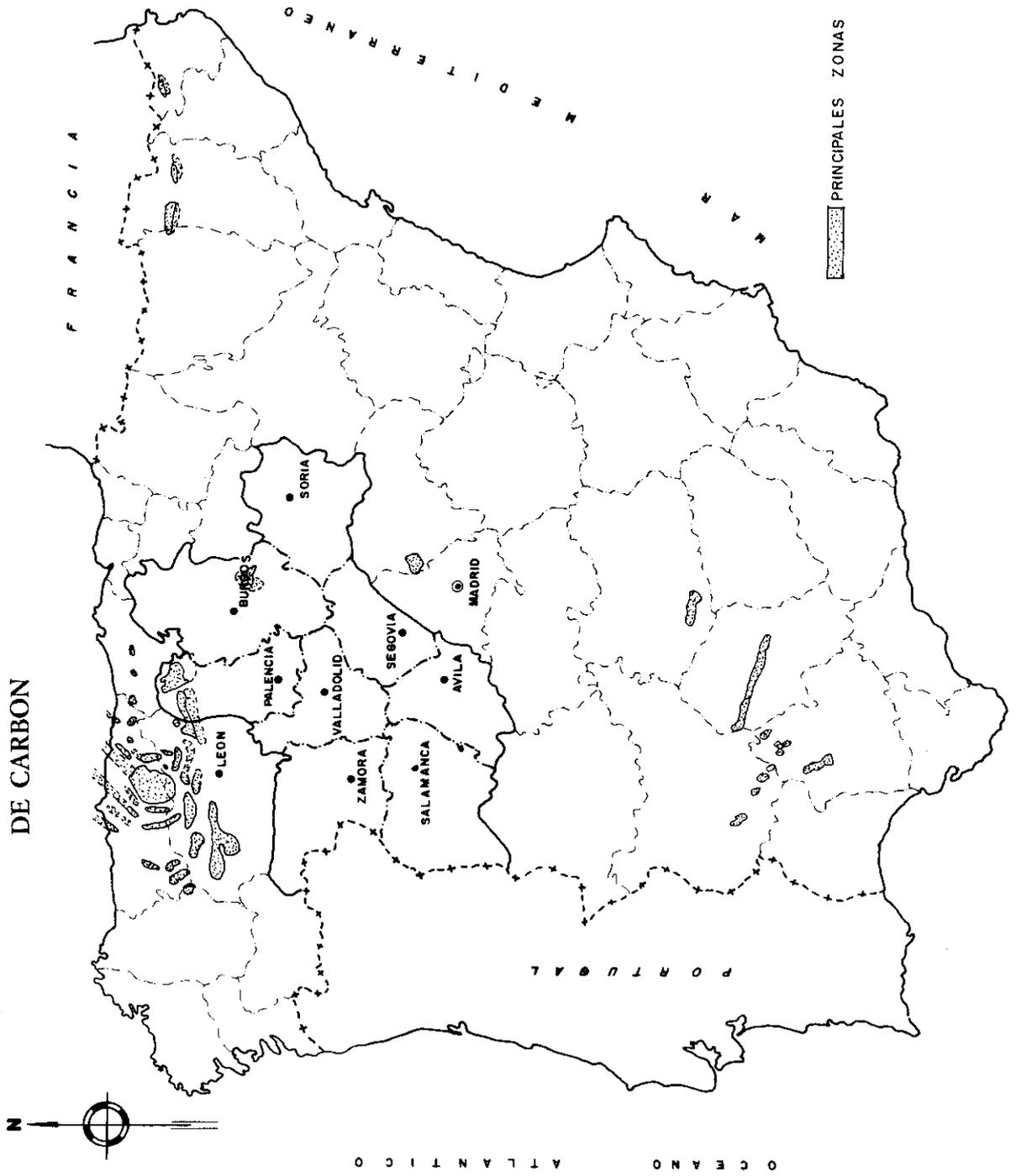


Fig. I. 2. m. 3: DISTRIBUCION DE LOS YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE ANTRACITA

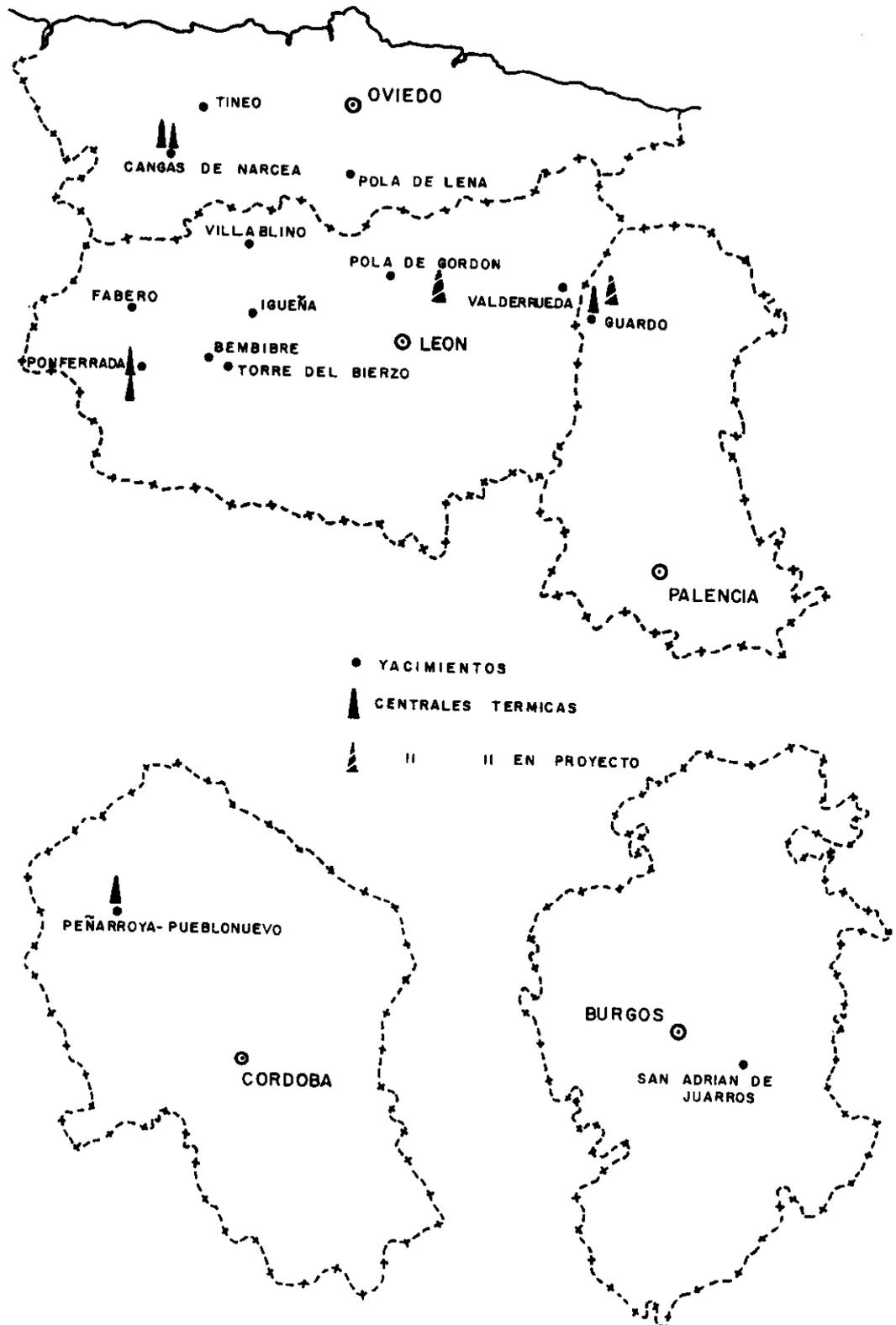


Fig. I. 2. m. 4: DISTRIBUCION DE LOS YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE LIGNITO

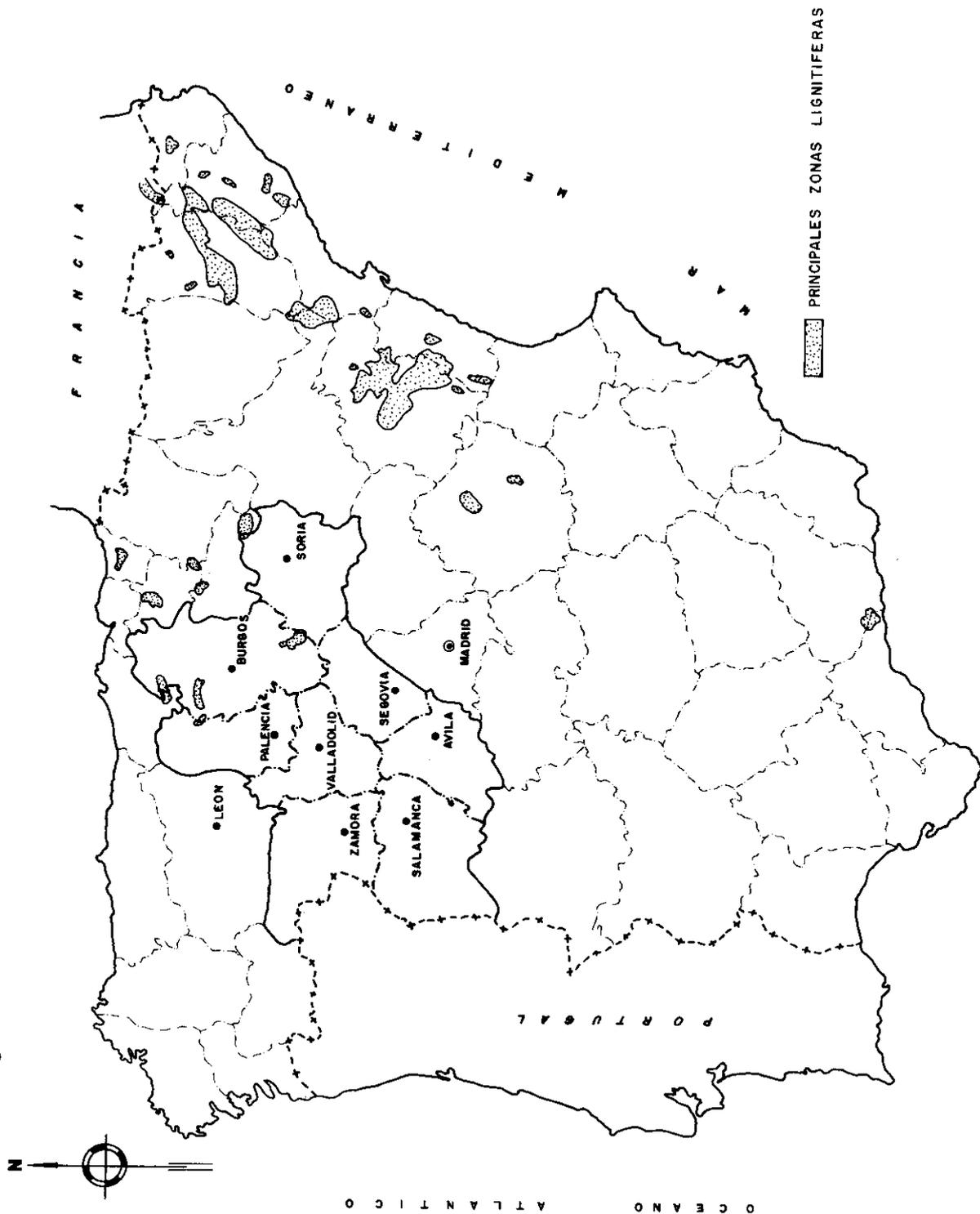
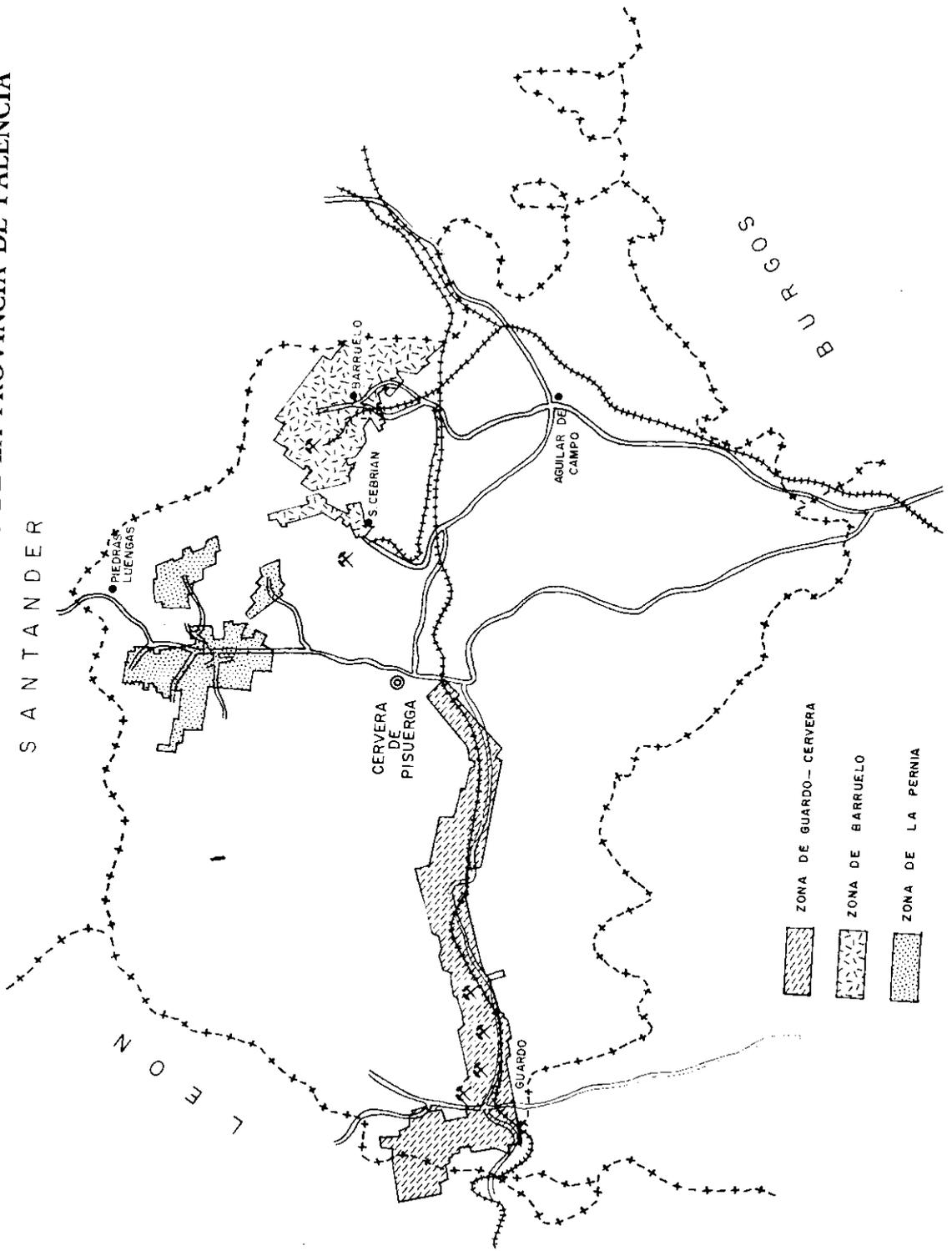


Fig. I. 2. m. 5: PRINCIPALES CUENCAS CARBONIFERAS DE LA PROVINCIA DE PALENCIA



-  ZONA DE GUARDO-CERVERA
-  ZONA DE BARRUELO
-  ZONA DE LA PERNIA

Fig. I. 2. m. 6: PERMISOS DE EXPLORACION DE HIDROCARBUROS EN BURGOS Y TARRAGONA (QUEROR, 1969)

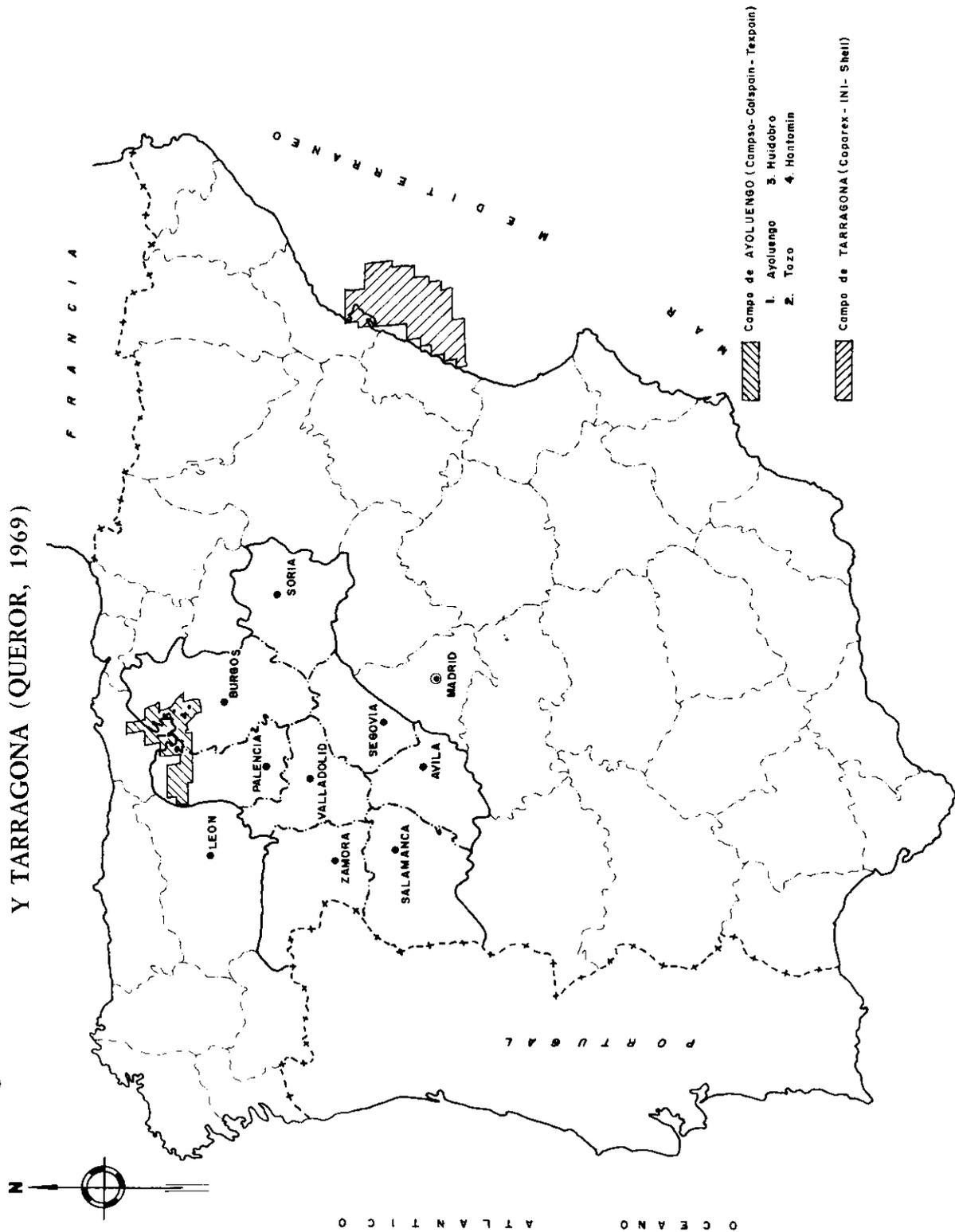


Fig. I. 2. 6. 1.: PLANTA Y SECCION TRANSVERSAL DEL CAMPO DE AYOLUENGO (QUEROR, 1967)

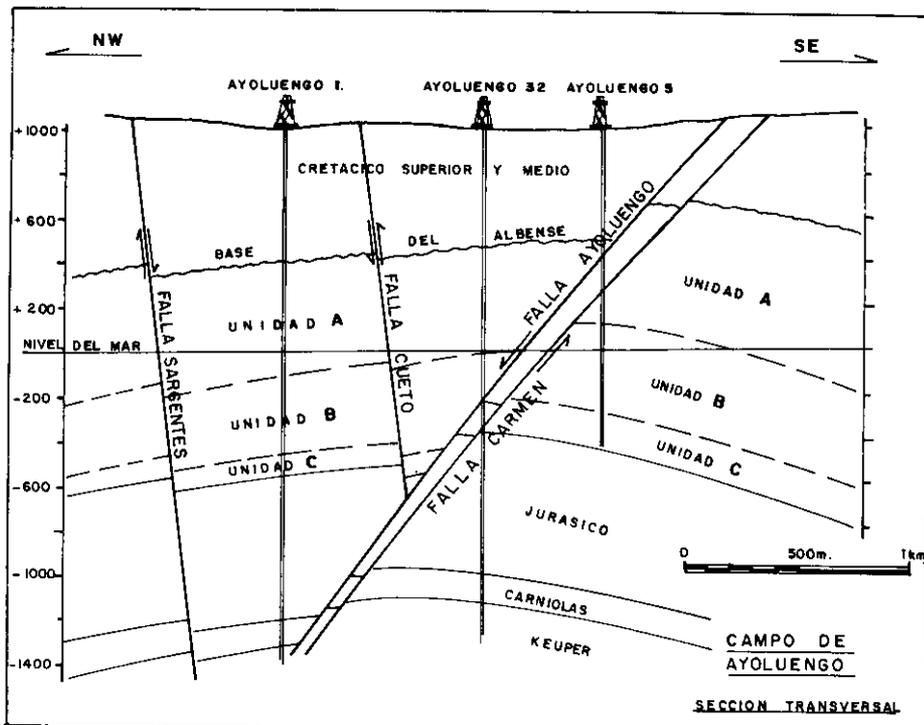
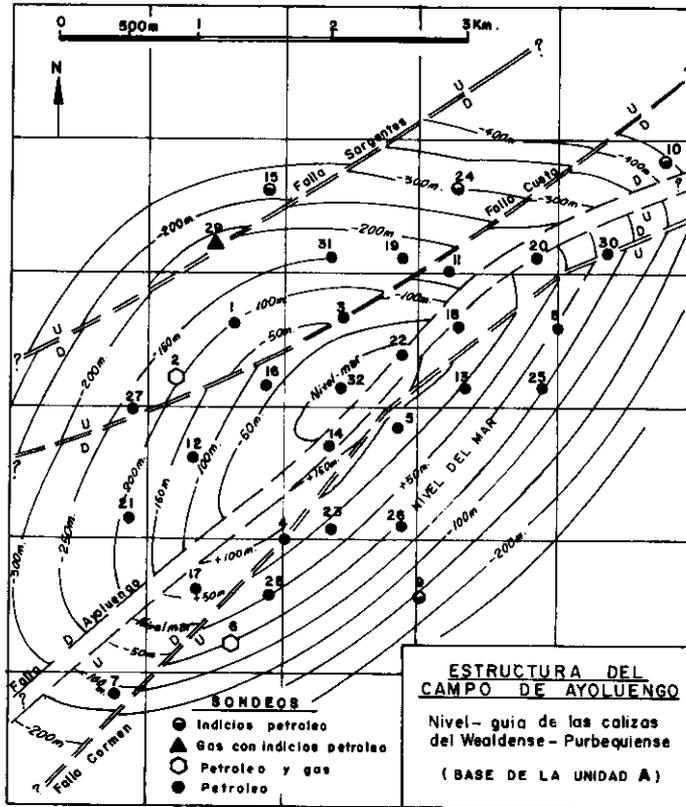


Fig. I. 2. m. 7: INDICIOS Y YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE MINERALES RADIACTIVOS

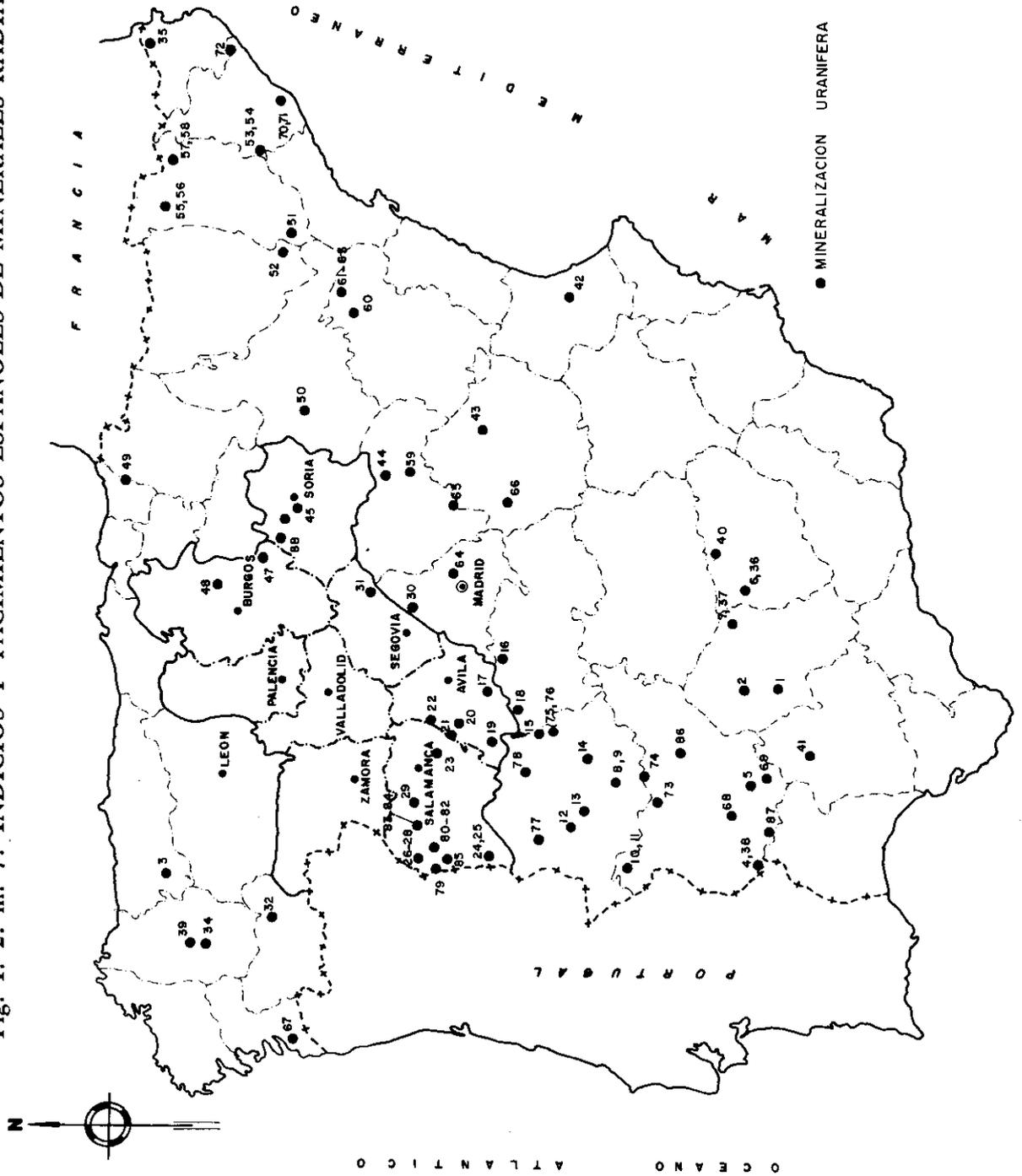
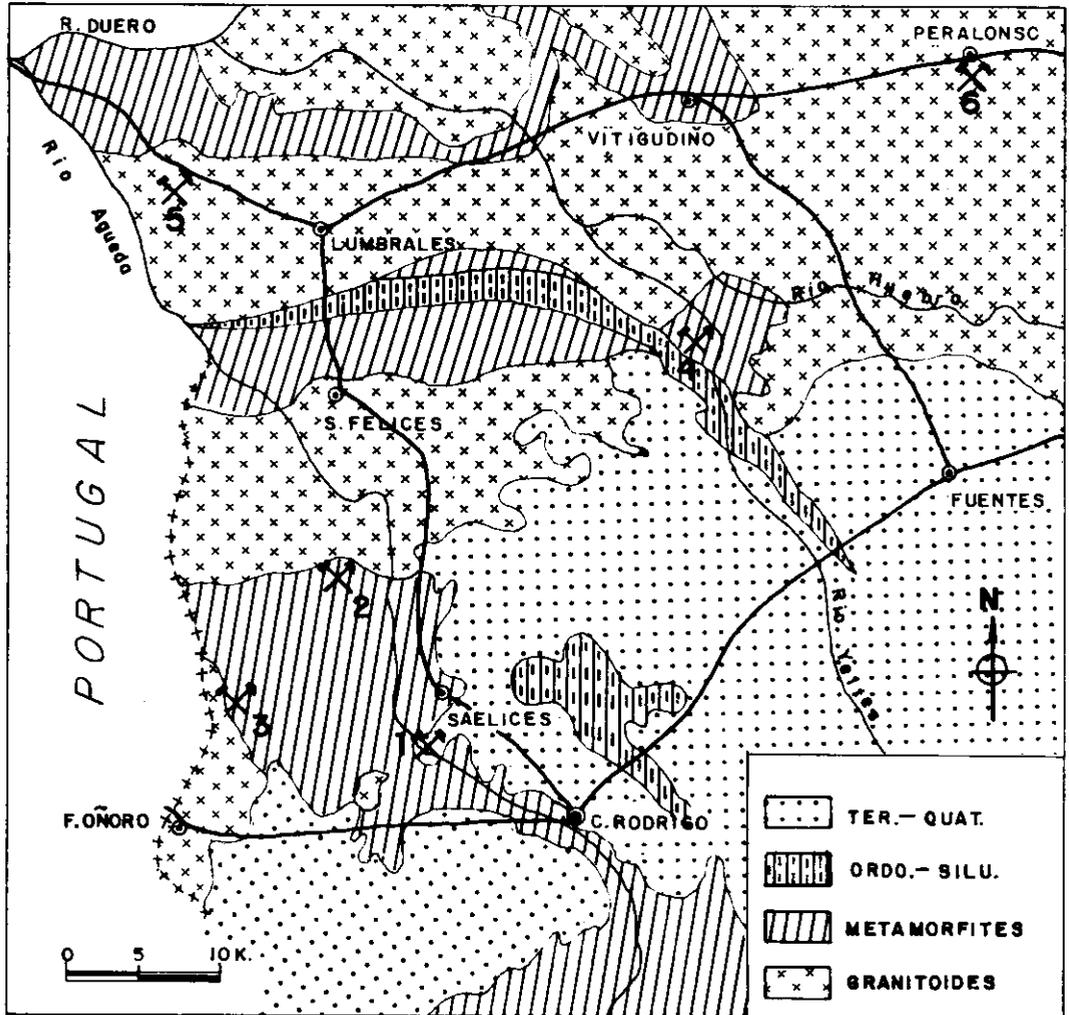


Fig. I. 2. m. 8: PRINCIPALES YACIMIENTOS DE URANIO DE LA PROVINCIA DE SALAMANCA



1. Fe
2. Esperanza
3. Alameda
4. Caridad
5. Valdemascaño
6. Peralonso

Fig. I. 2. m. 9: PRINCIPALES INDICIOS Y YACIMIENTOS DE URANIO EN LA ZONA SAELICES-ALAMEDA DE GARDON

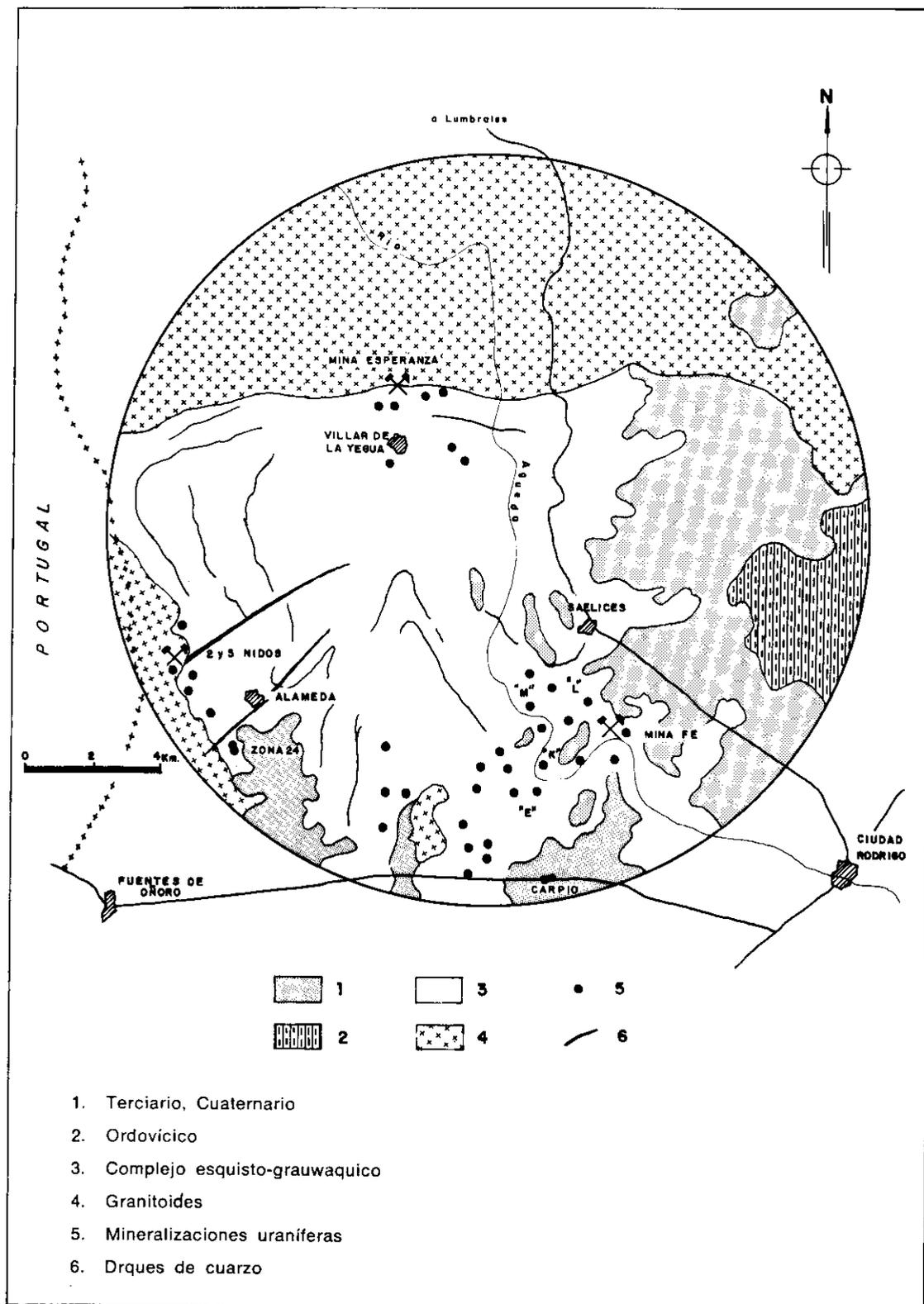


Fig. I. 2. m. 10: PRINCIPALES INDICIOS Y YACIMIENTOS DE URANIO EN LA ZONA DE VILLARES-VILLAVIEJA DE YELTES

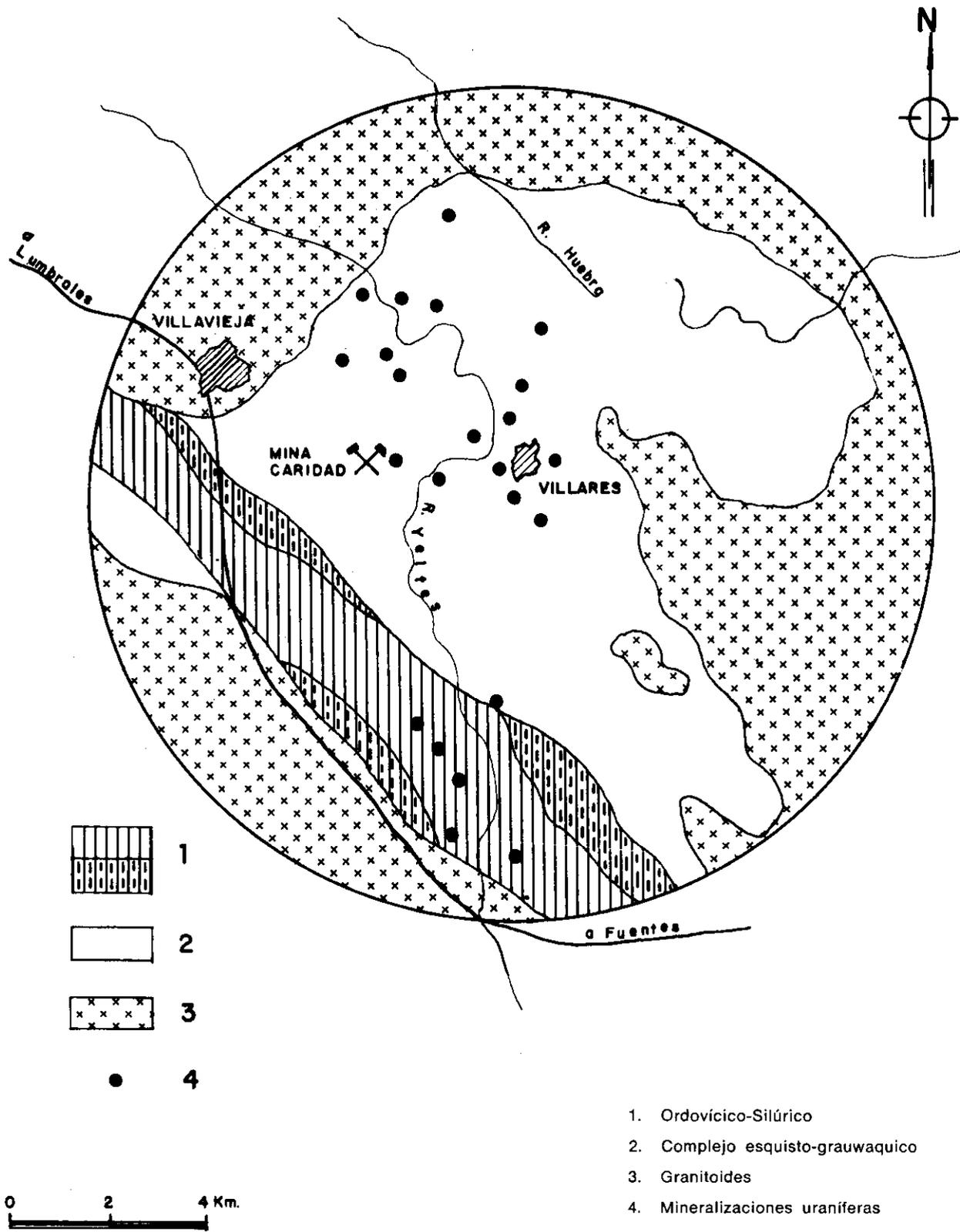


Fig. I. 2. m. 11: PRINCIPALES ZONAS ESPAÑOLAS CON MINERALIZACIONES DE WOLFRAMIO

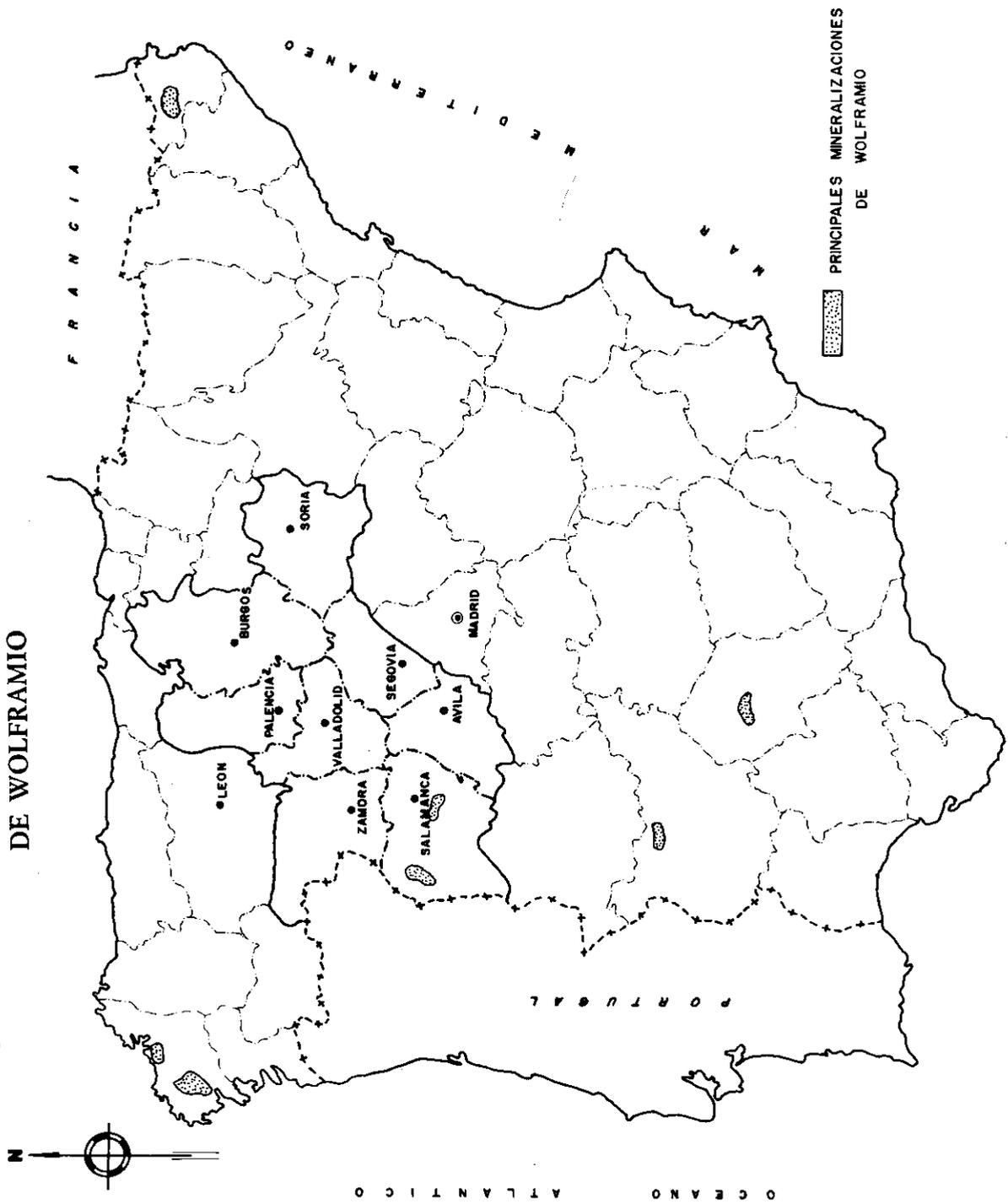


Fig. I. 2. m. 12: PRINCIPALES YACIMIENTOS DE WOLFRAMIO DE LA PROVINCIA DE SALAMANCA

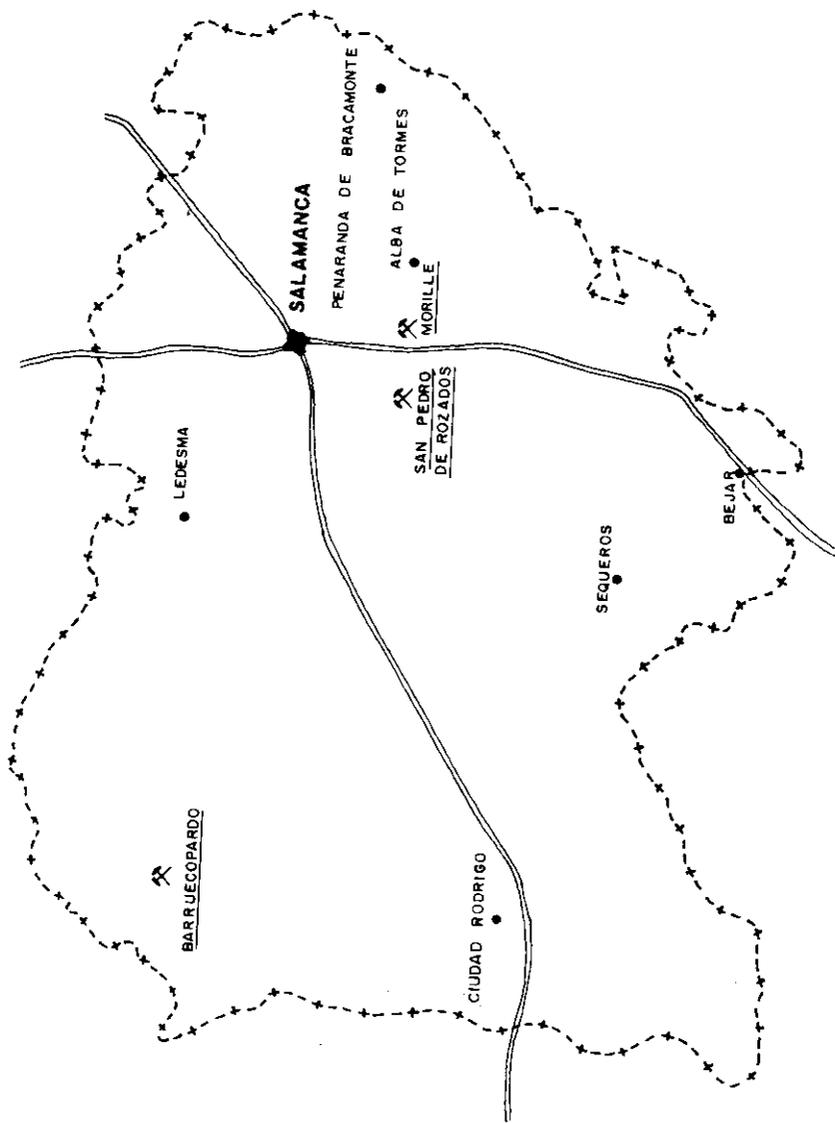
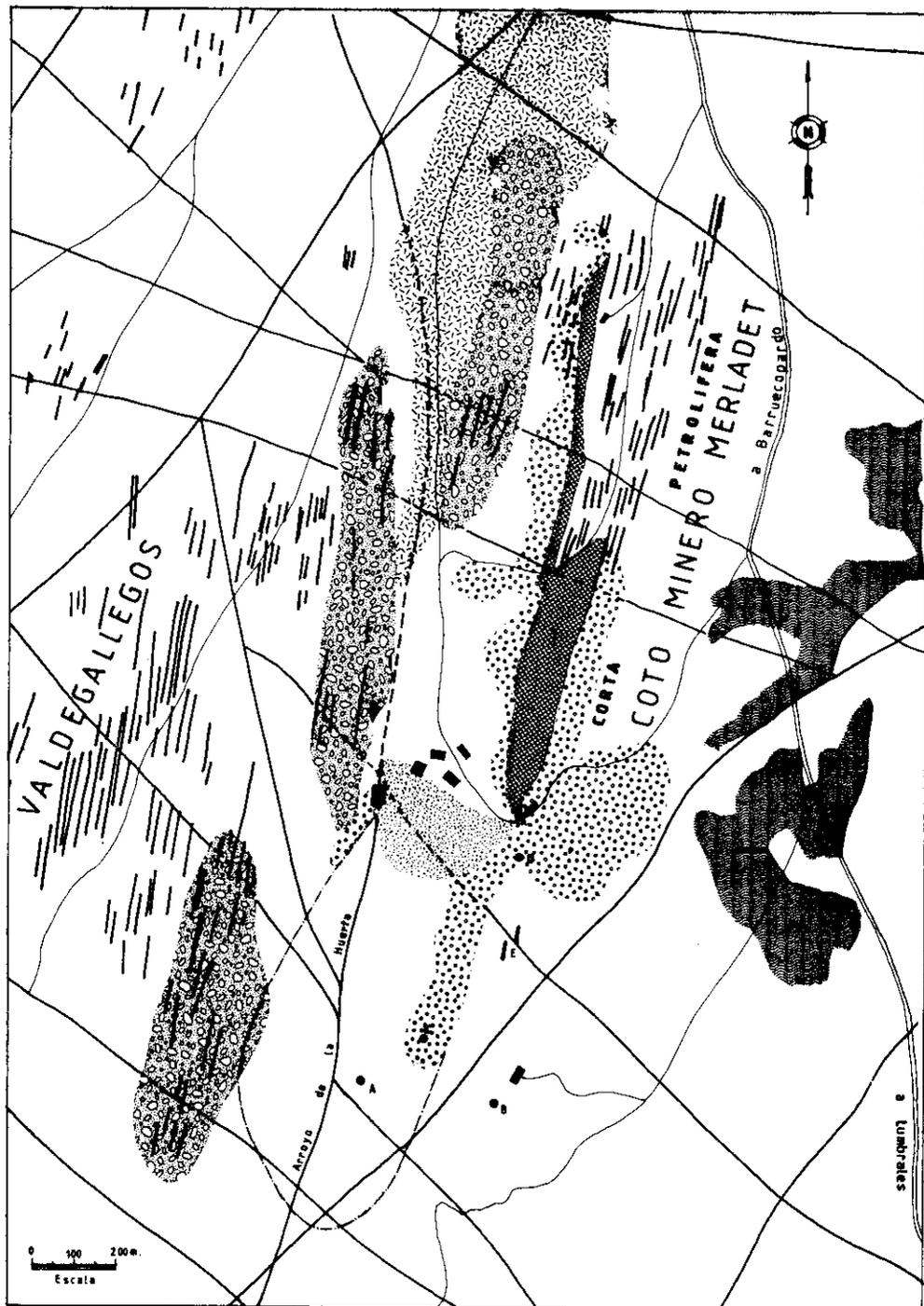


Fig. I. 2. m. 13: ESQUEMA GEOLOGICO DEL YACIMIENTO DE BARRUECOPARDO (SALAMANCA)



LEYENDA

- | | | | | | |
|--|------------|--|-------------------|--|--------------------|
| | Aluviones | | Filones | | Balsa en proyecto |
| | Coluviones | | Fracturas | | Caminos |
| | Granito | | Escombrera Fina | | Construcciones |
| | Esquistos | | Escombrera Gruesa | | Puntos en el texto |

Fig. I. 2. m. 14: ESQUEMA GEOLOGICO DE LA ZONA DE MORILLE

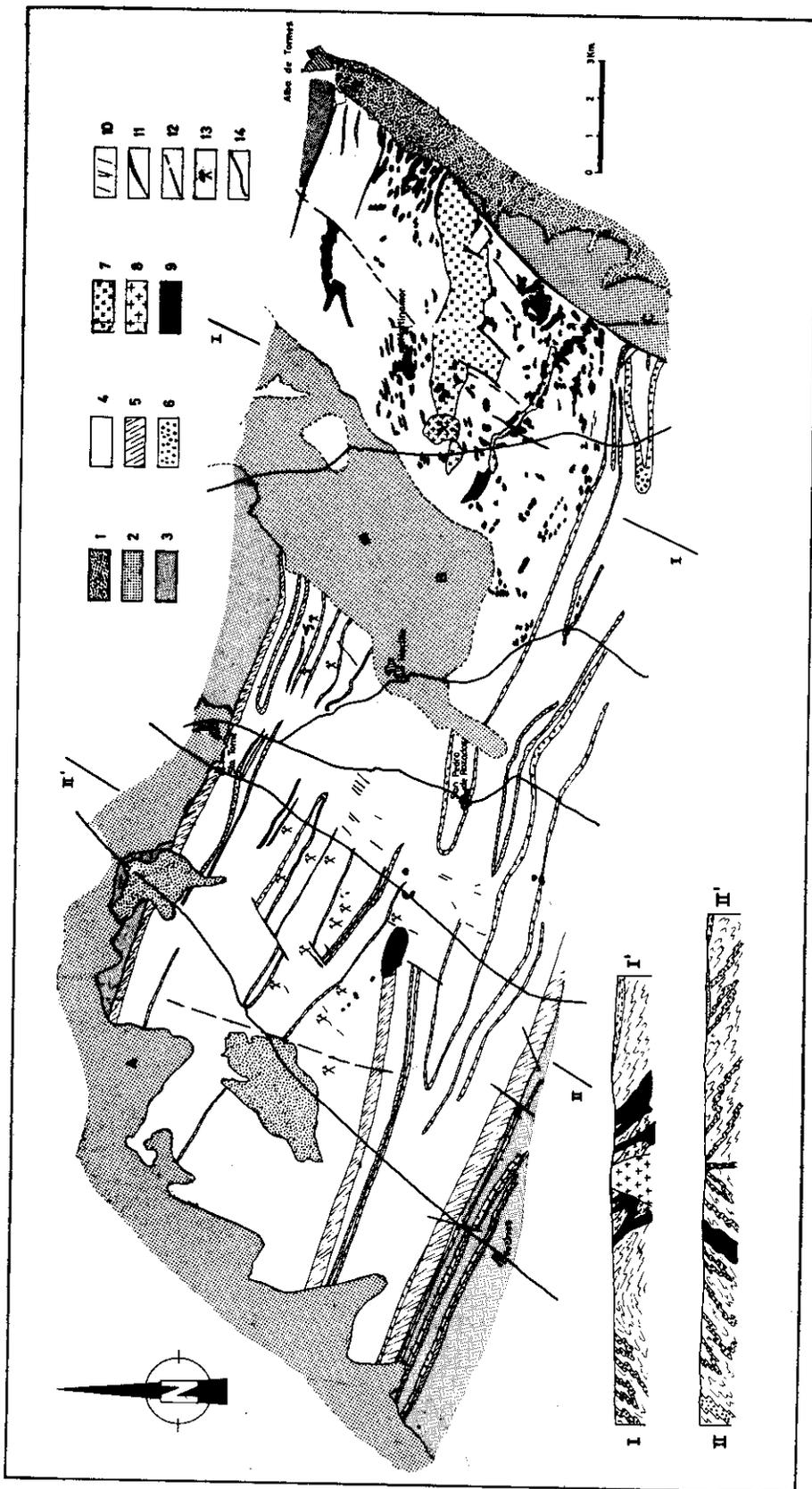


Figura I. 2. M. 14. ESQUEMA GEOLOGICO DE LA ZONA DE MORILLE, entre Alba de Tormes y Vecinos, provincia de Salamanca, con los principales indicios y yacimientos de tungsteno.

CUATERNARIO: (1) aluvial; TERCIARIO: (2) arcillas, areniscas y conglomerados. (A. Cuenca de Salamanca-Ciudad Rodrigo; B. Cuenca de Morille; C. Cuenca del Tormes); PALEOZOICO. Serie de Aldeatejada: (3) pizarras y cuarcitas. Serie de Morille: (4) esquistos; anfibolitas y rocas carbonáticas (skarnoides); (5) cuarcitas; (6) porfiroidos; ROCAS PLUTONICAS: (7) ortogneis de S. Pelayo, (8) granitos de S. Genoveva, (9) granitos de Martinamor; ROCAS FILONIANAS: (10) diques de pegmatitas y cuarzo; ESTRUCTURAS TECTONICAS: (11) brechas de falla; (12) fracturas; MINERALIZACIONES: (13) skarnoides y filones con scheelita; CARRETERAS (T4).

Fig. I. 2. m. 15: PRINCIPALES ZONAS ESPAÑOLAS CON MINERALIZACIONES DE ESTAÑO

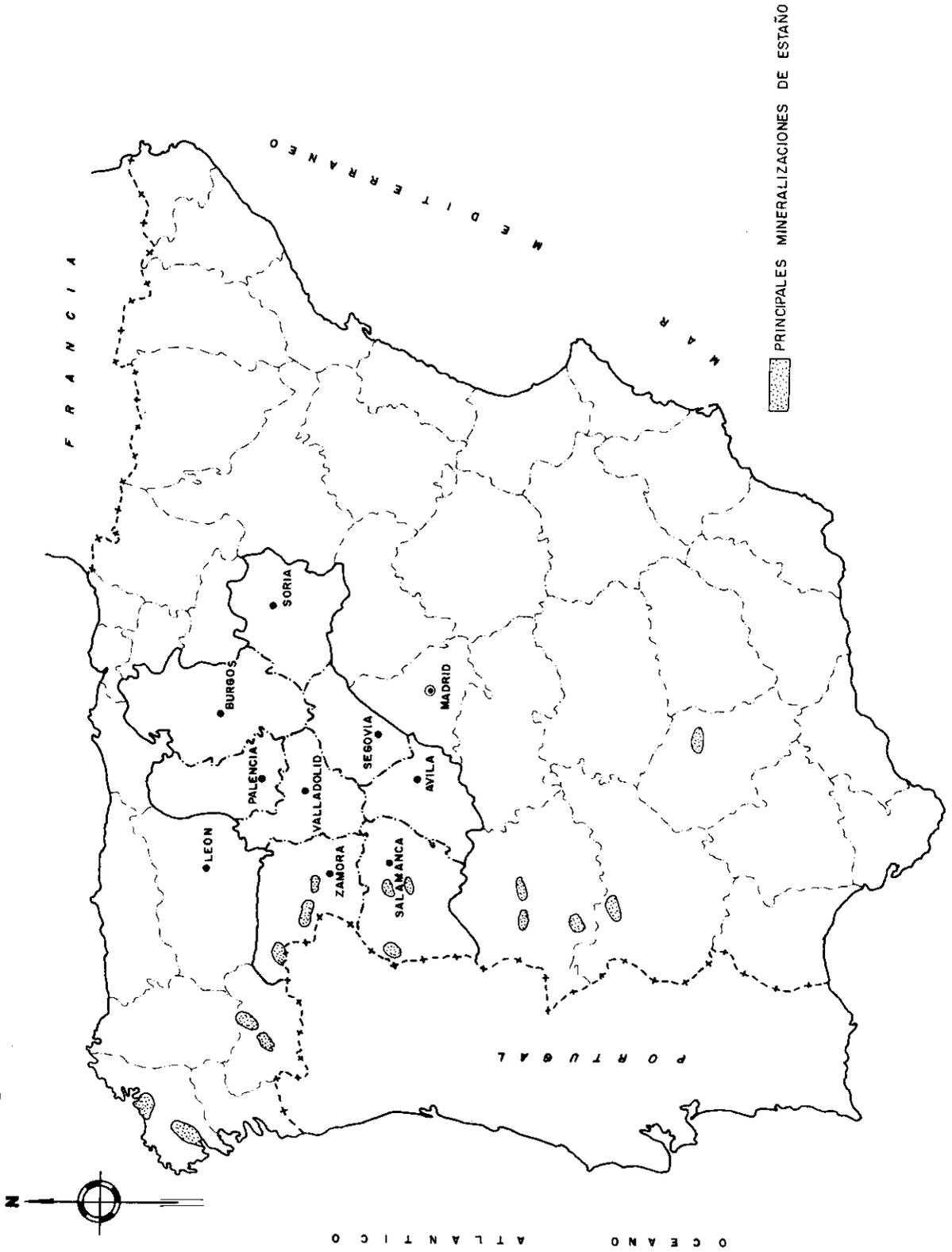


Fig. I. 2. m. 16: PRINCIPALES YACIMIENTOS DE ESTAÑO DE LA PROVINCIA DE ZAMORA

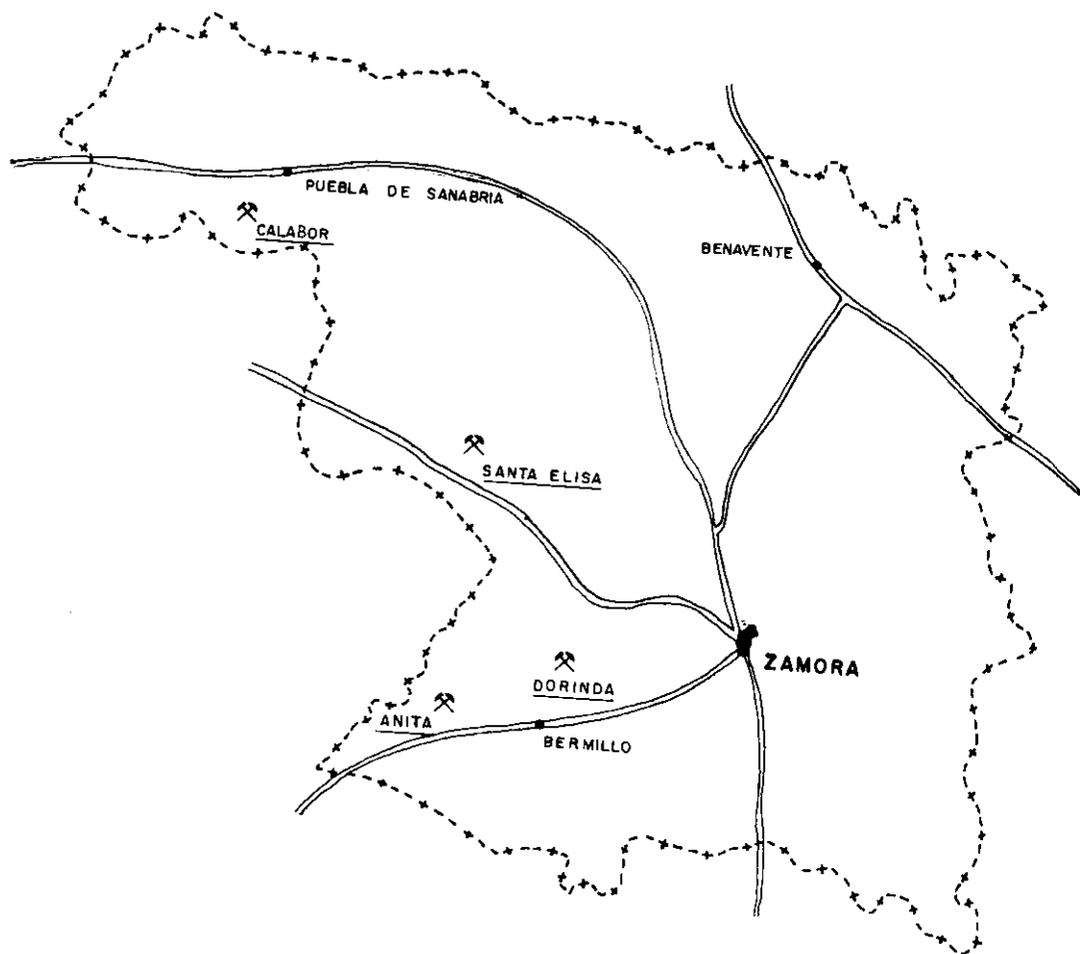


Fig. I. 2. m. 17: PRINCIPALES YACIMIENTOS DE ESTAÑO DE LA PROVINCIA DE SALAMANCA

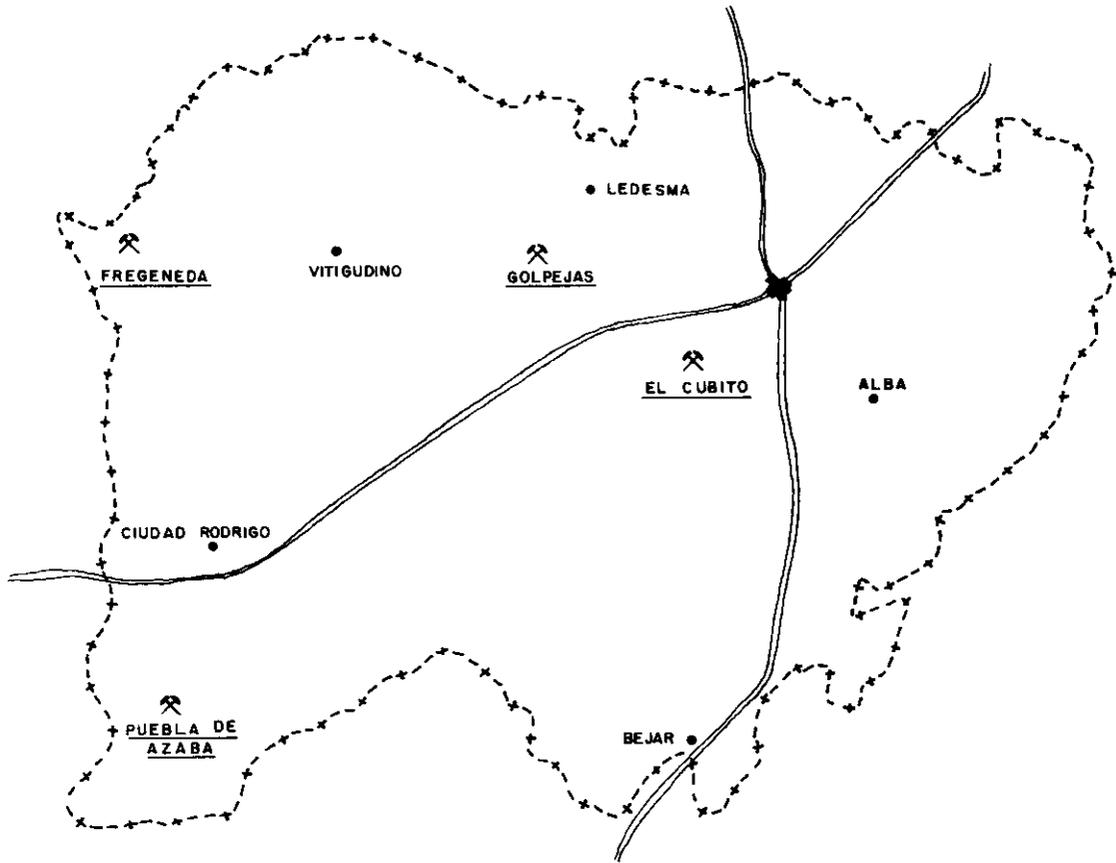


Fig. I. 2. m. 18: SITUACION DE LAS ZONAS ESPAÑOLAS CON YACIMIENTOS DE BARITA

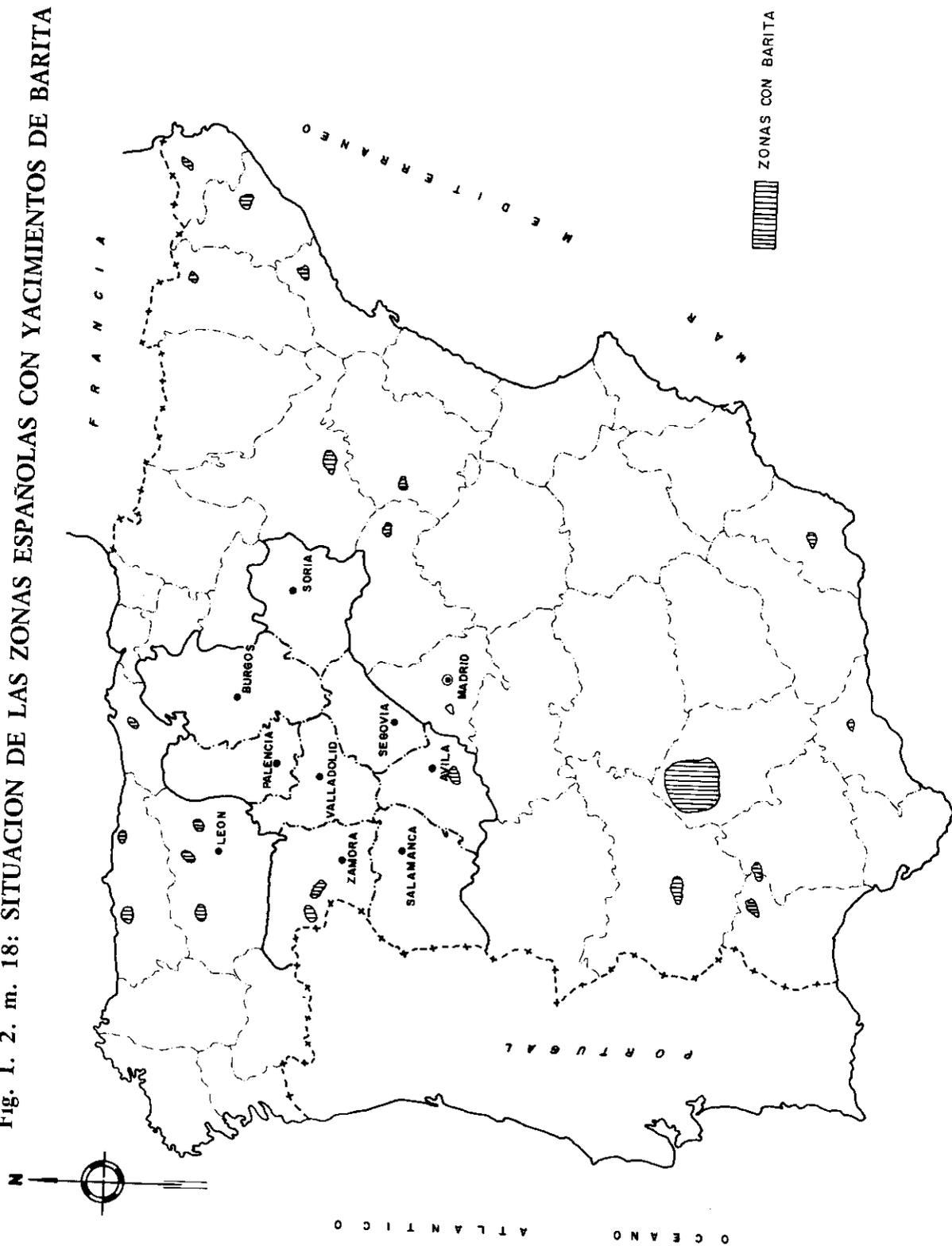


Fig. I. 2. m. 19: SITUACION DE LOS YACIMIENTOS DE BARITA EN LAS PROVINCIAS DE AVILA Y ZAMORA

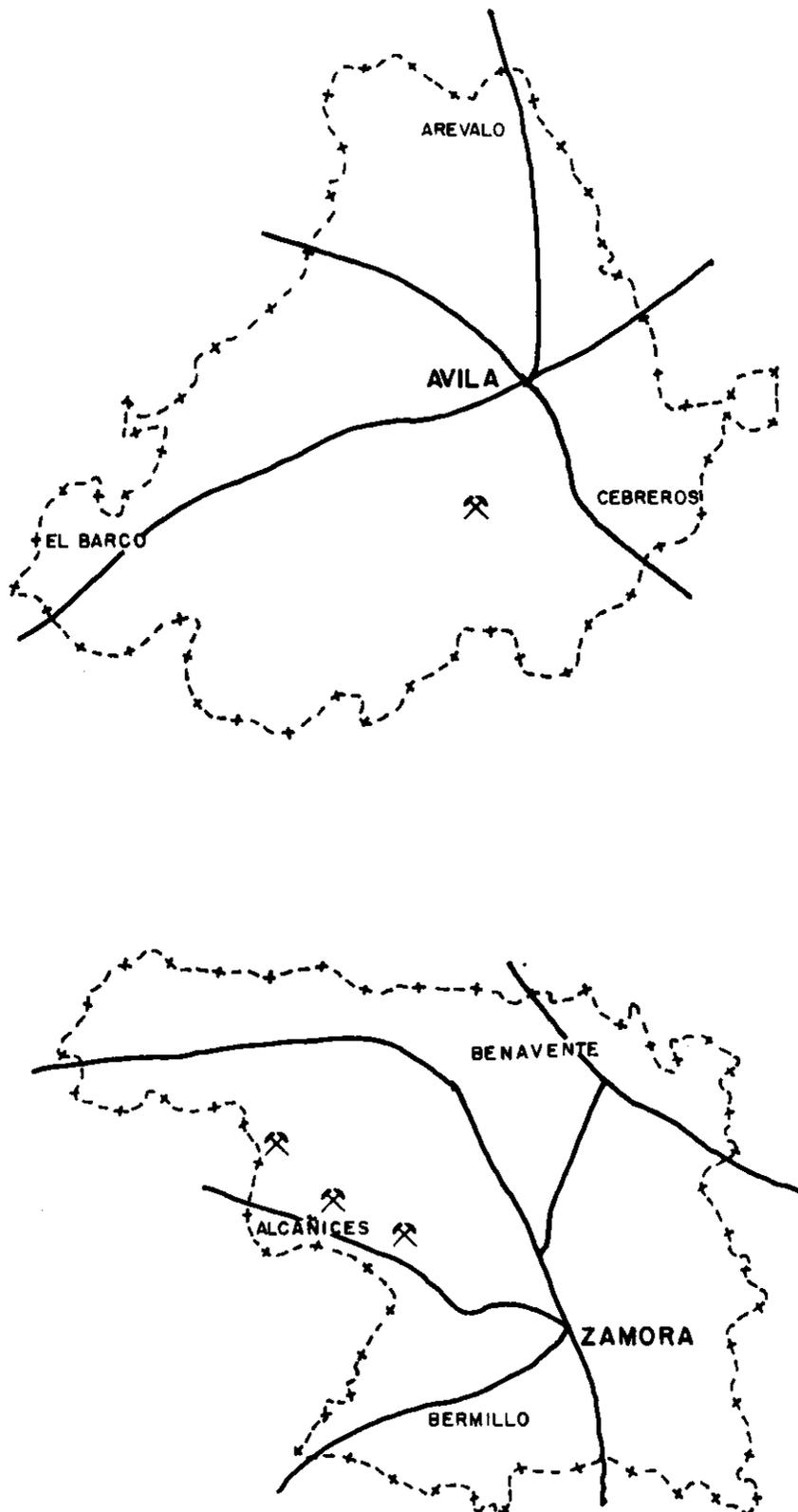


Fig. I. 2. m. 20: SITUACION GEOLOGICA DE LA MINA «AMBICIOSA» EN VIDE DE ALBA (ZAMORA)

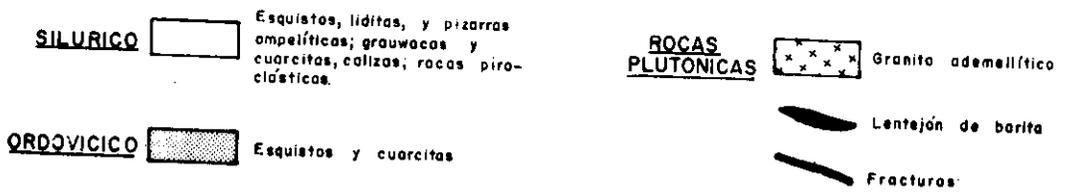
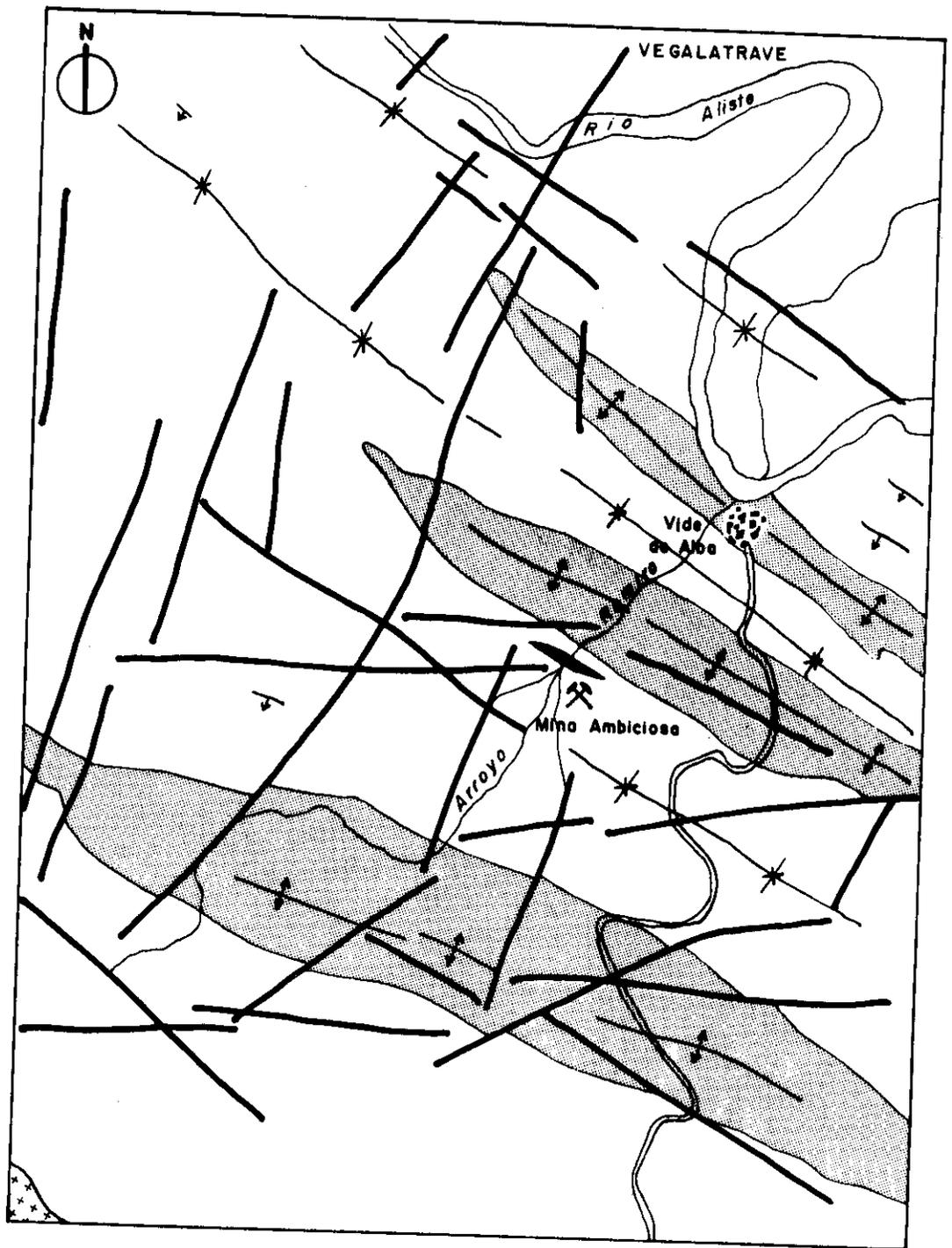


Fig. I. 2. m. 21: CONCESIONES Y EXPLOTACIONES ESPAÑOLAS DE CAOLIN

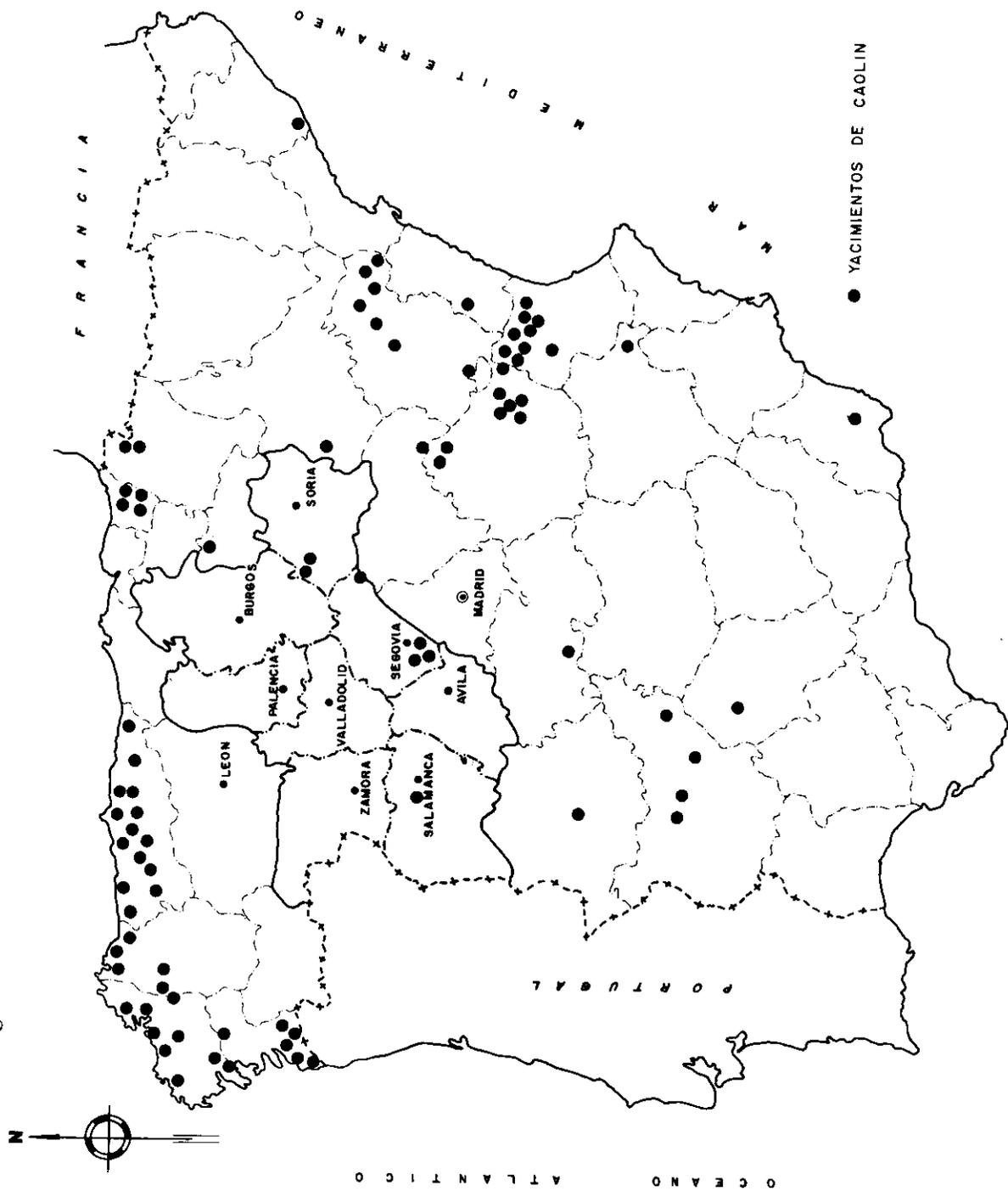


Fig. I. 2. m. 22: YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE ARCILLAS ESPECIALES

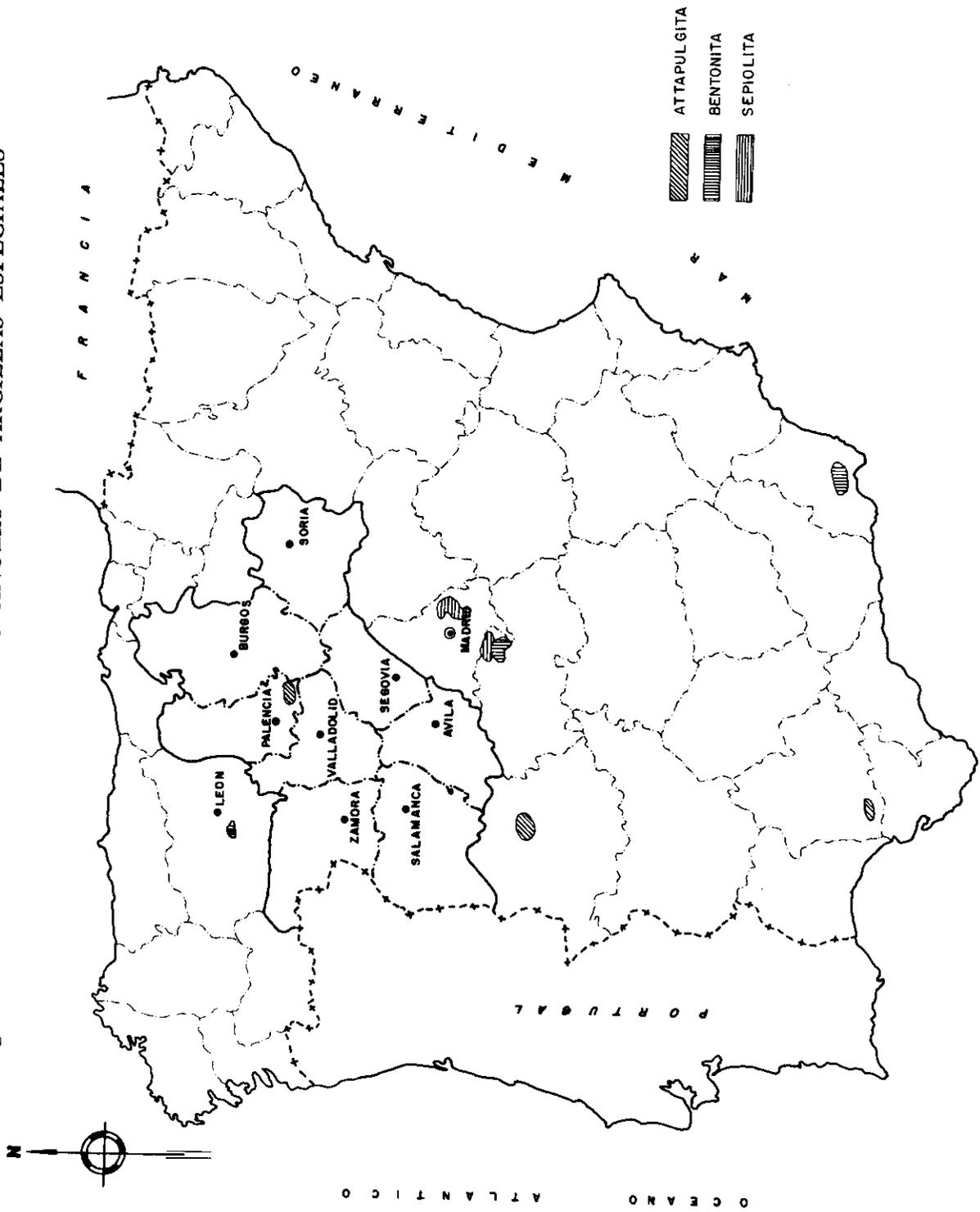


Fig. I. 2. m. 23: SITUACION DE LOS YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE CUARZO Y ARENAS SILICEAS Y ARENAS SILICEAS

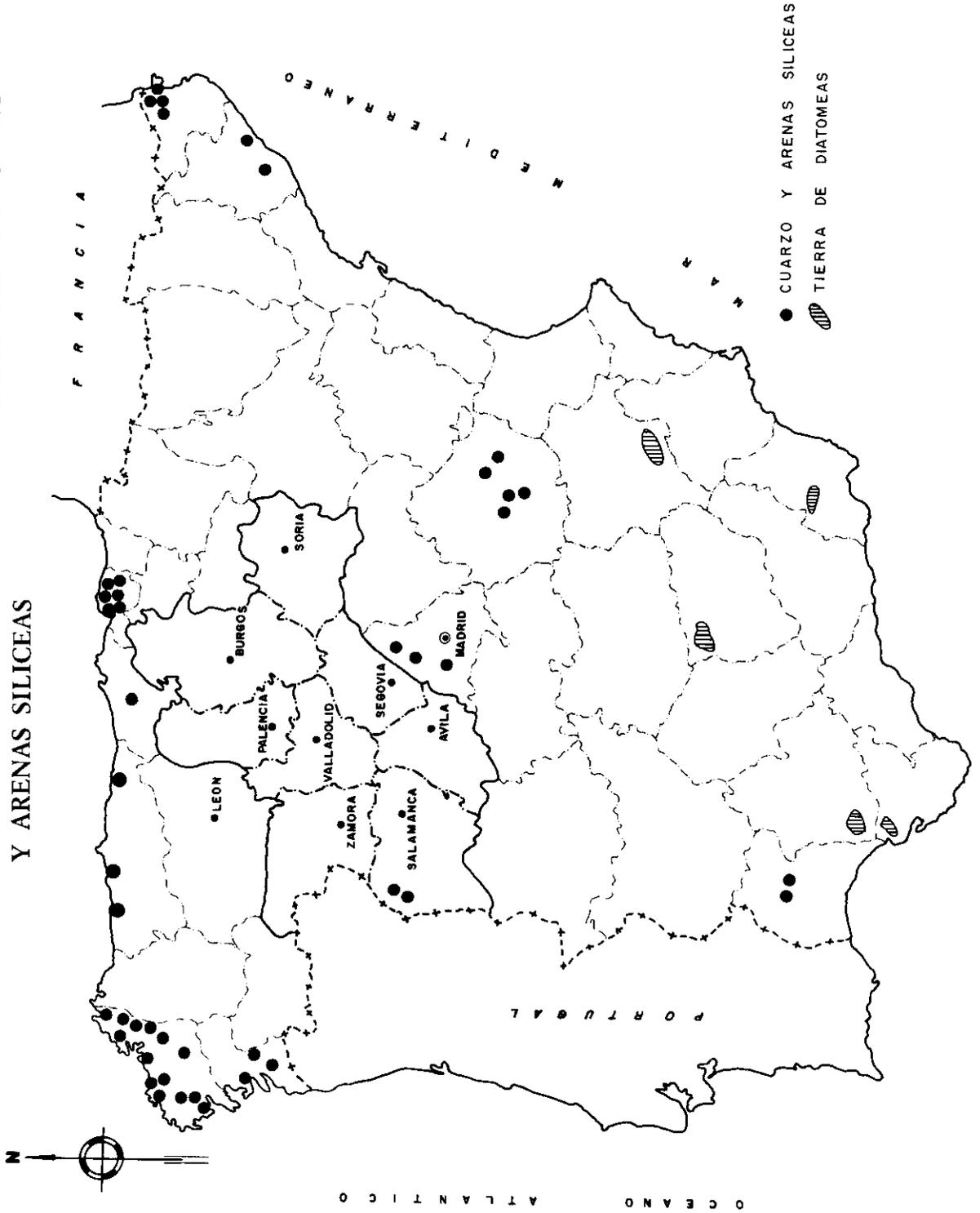


Fig. I. 2. m. 24: LOS YACIMIENTOS DE YESO EN ESPAÑA

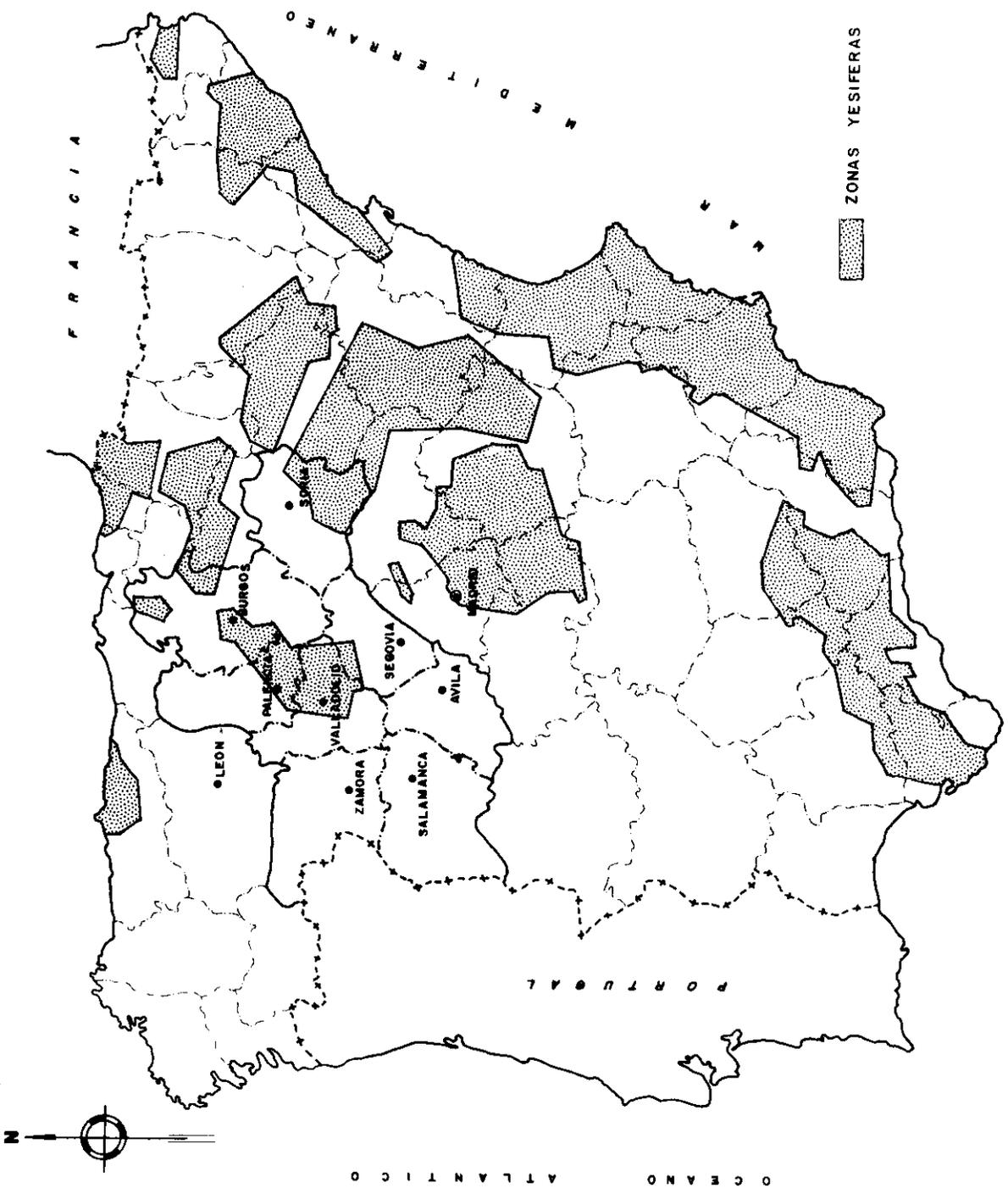


Fig. I. 2. m. 25: PRINCIPALES UNIDADES GEOLOGICAS Y AREAS YESIFERAS EN LAS CUENCAS DEL DUERO Y EBRO (P. N. I. M., 1978)

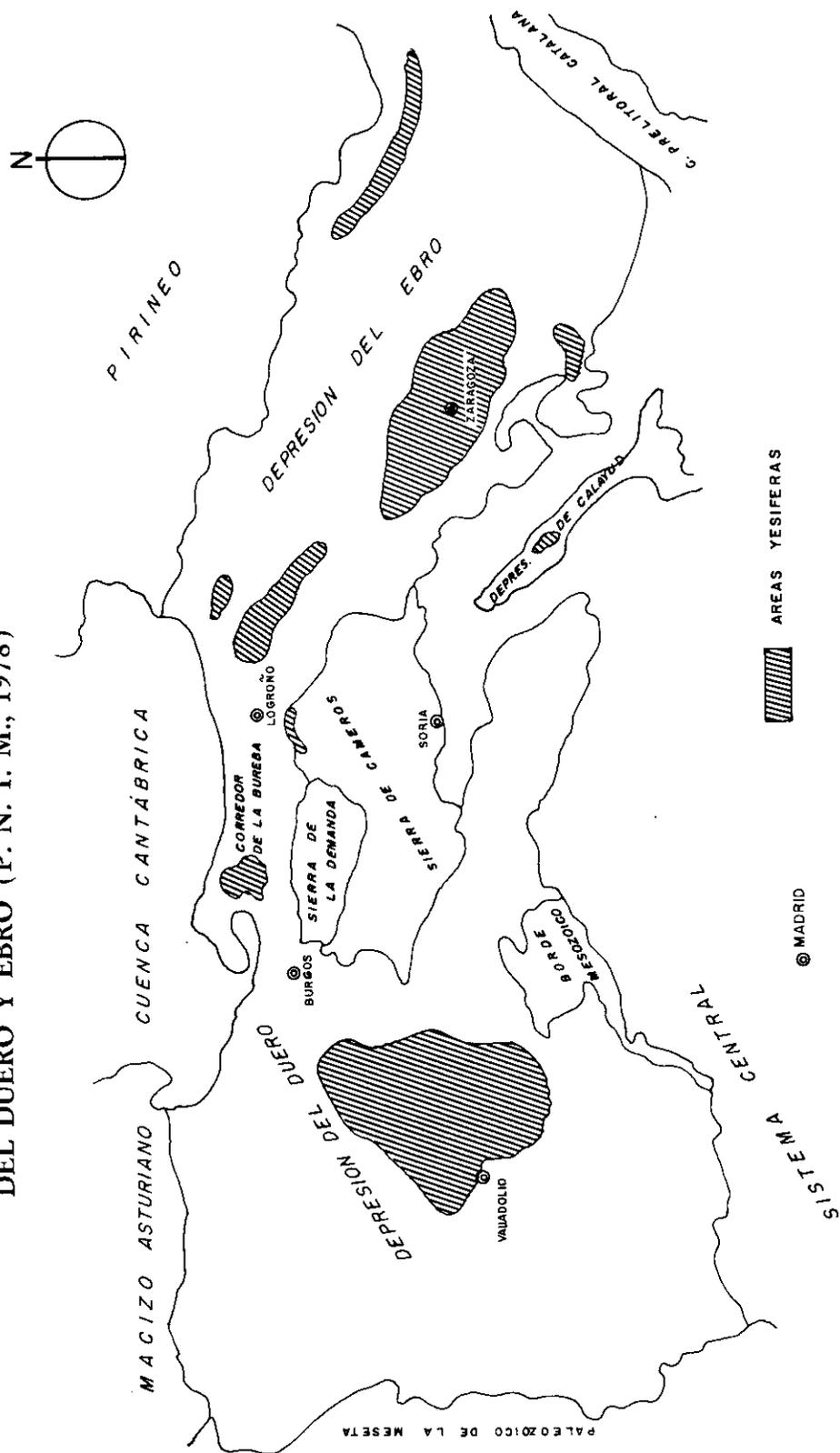


Fig. I. 2. m. 26: SITUACION DE LAS PRINCIPALES AREAS YESIFERAS DE LA REGION CASTELLANO-LEONESA (P. N. I. M., 1976)

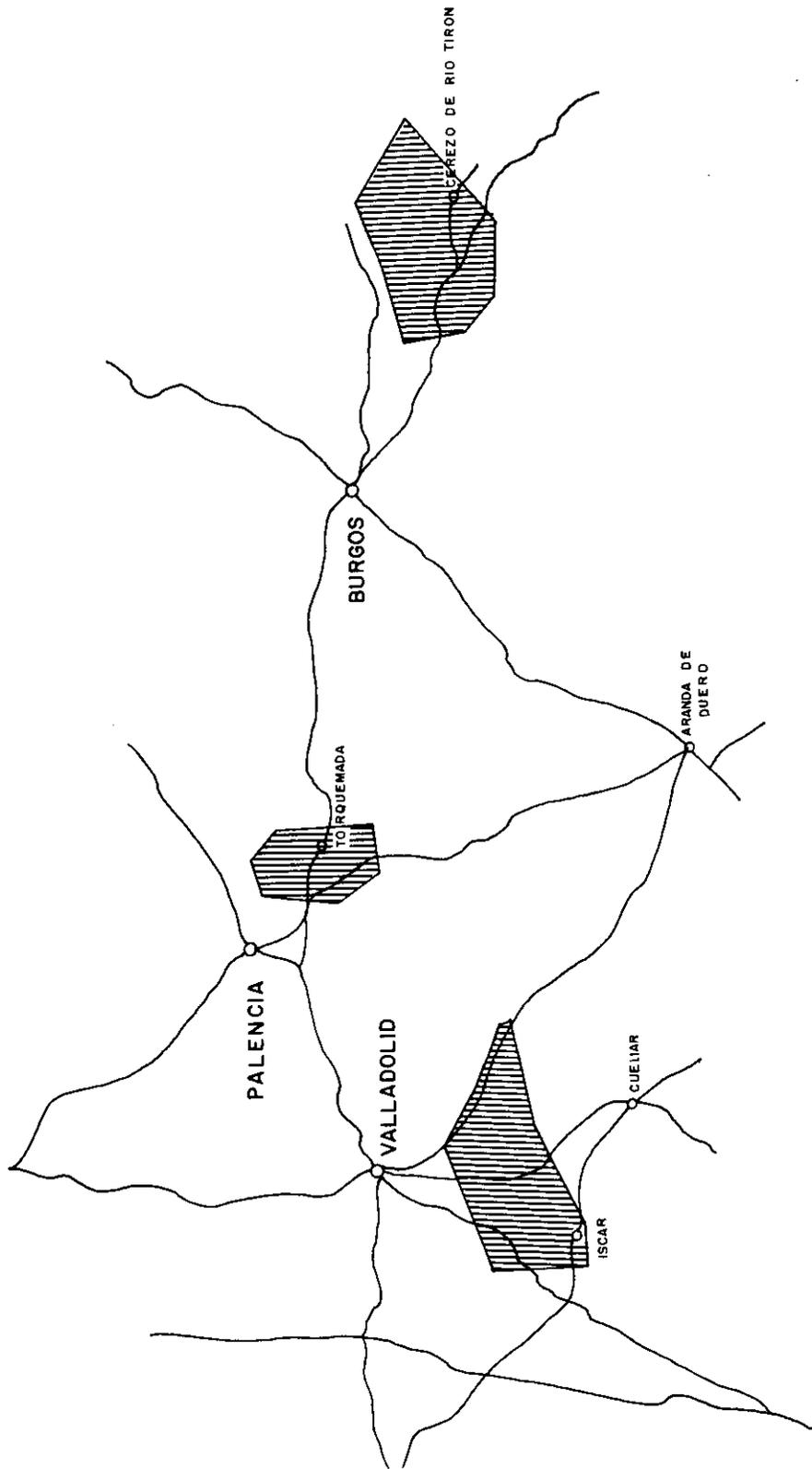


Fig. I. 2. m. 27: PRINCIPALES RESERVAS DE ARENISCAS PARA LA CONSTRUCCION EN LA PROVINCIA DE SALAMANCA

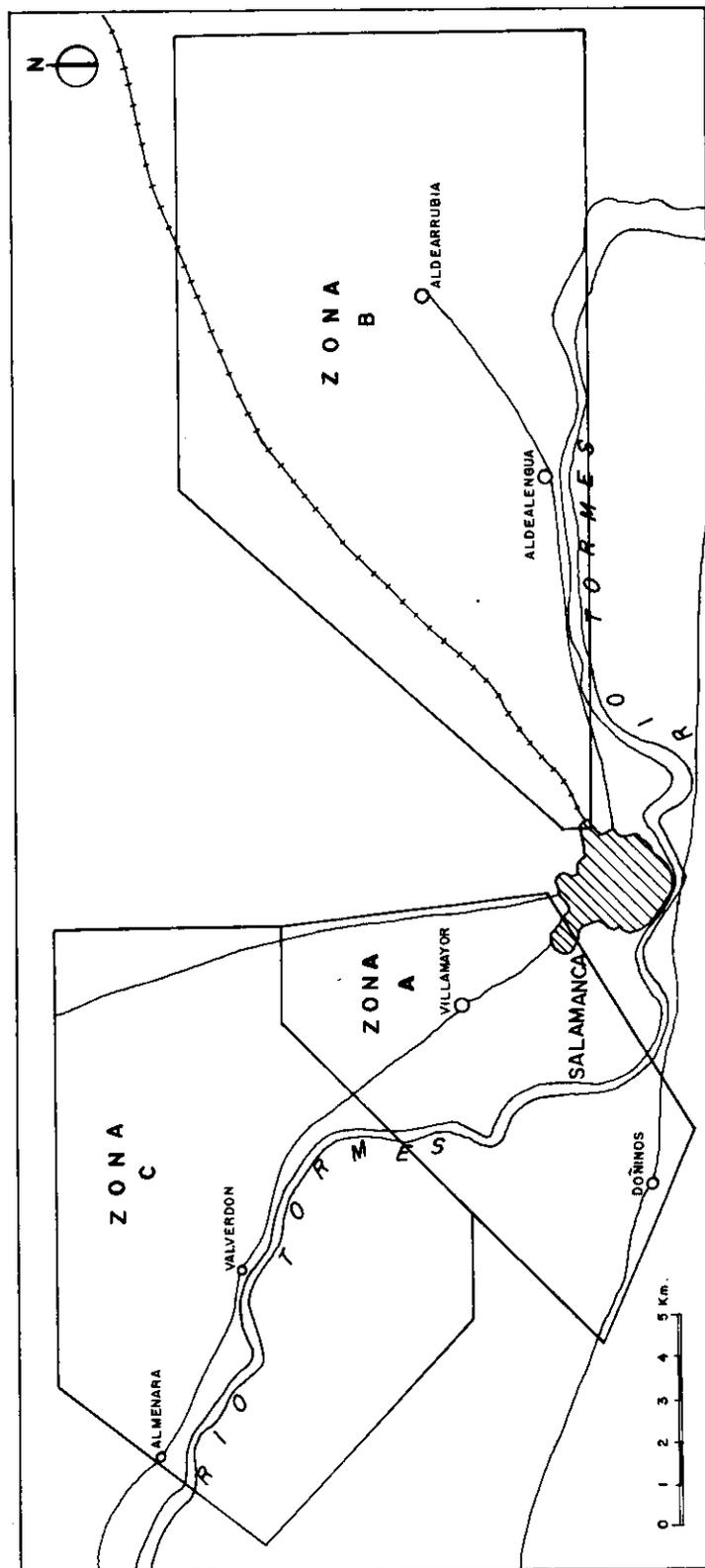


Fig. I. 2. m. 28: SITUACION DE LOS PRINCIPALES YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE CALIZAS

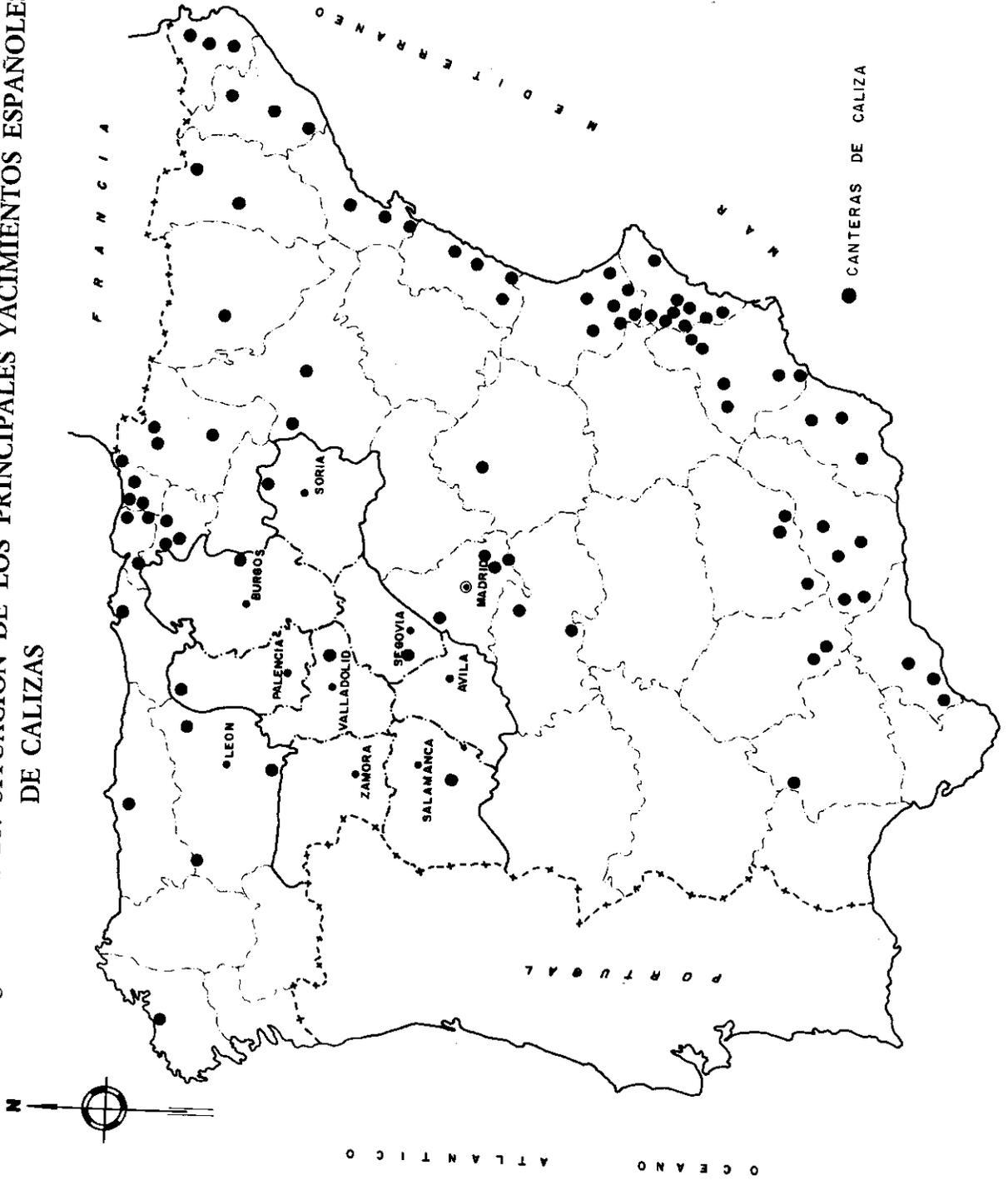


Fig. I. 2. m. 29: SITUACION DE LAS PRINCIPALES CANTERAS DE ROCAS GRANITICAS

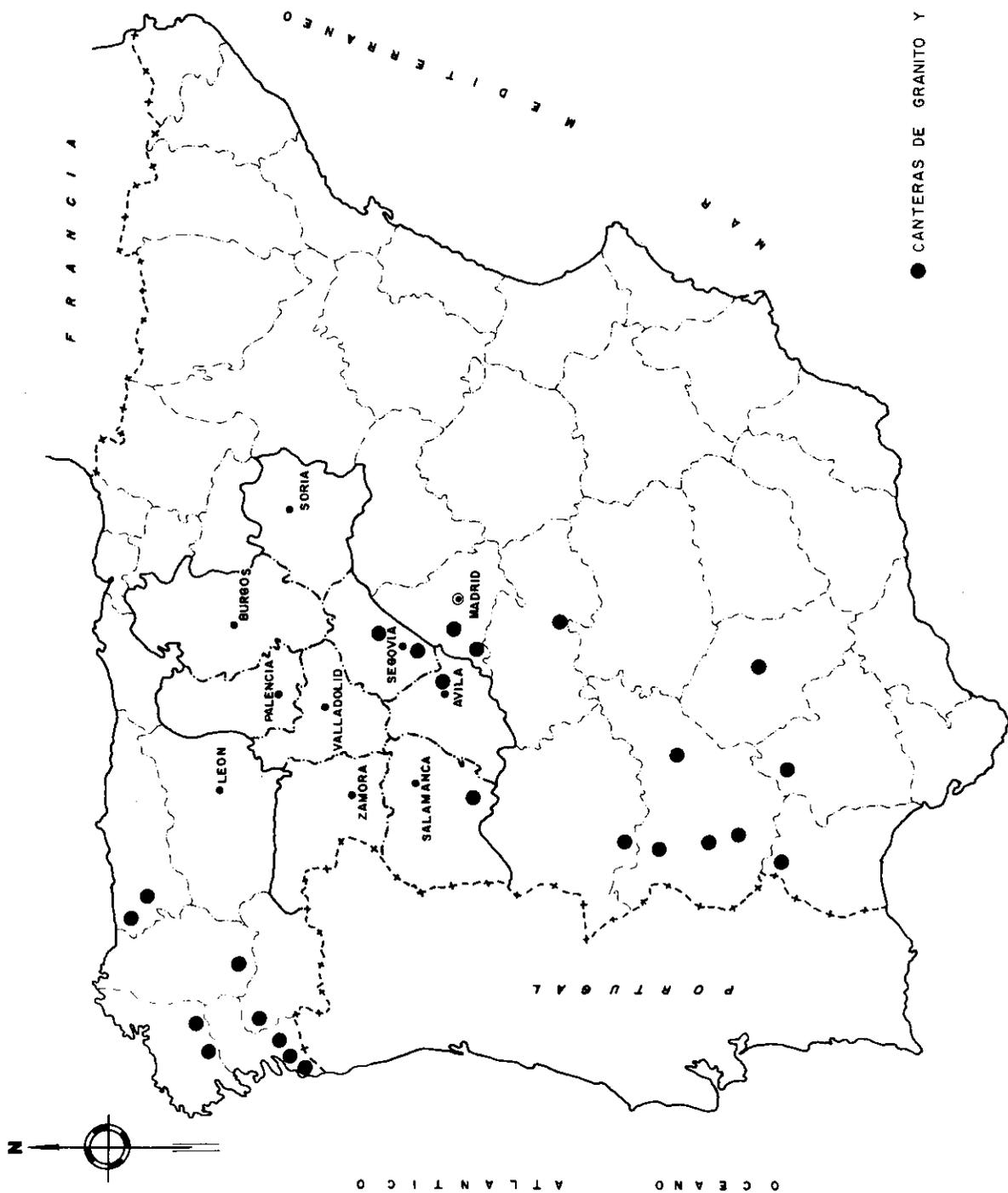


Fig. I. 2. m. 30: SITUACION DE LAS PRINCIPALES CANTERAS ESPAÑOLAS DE MARMOL

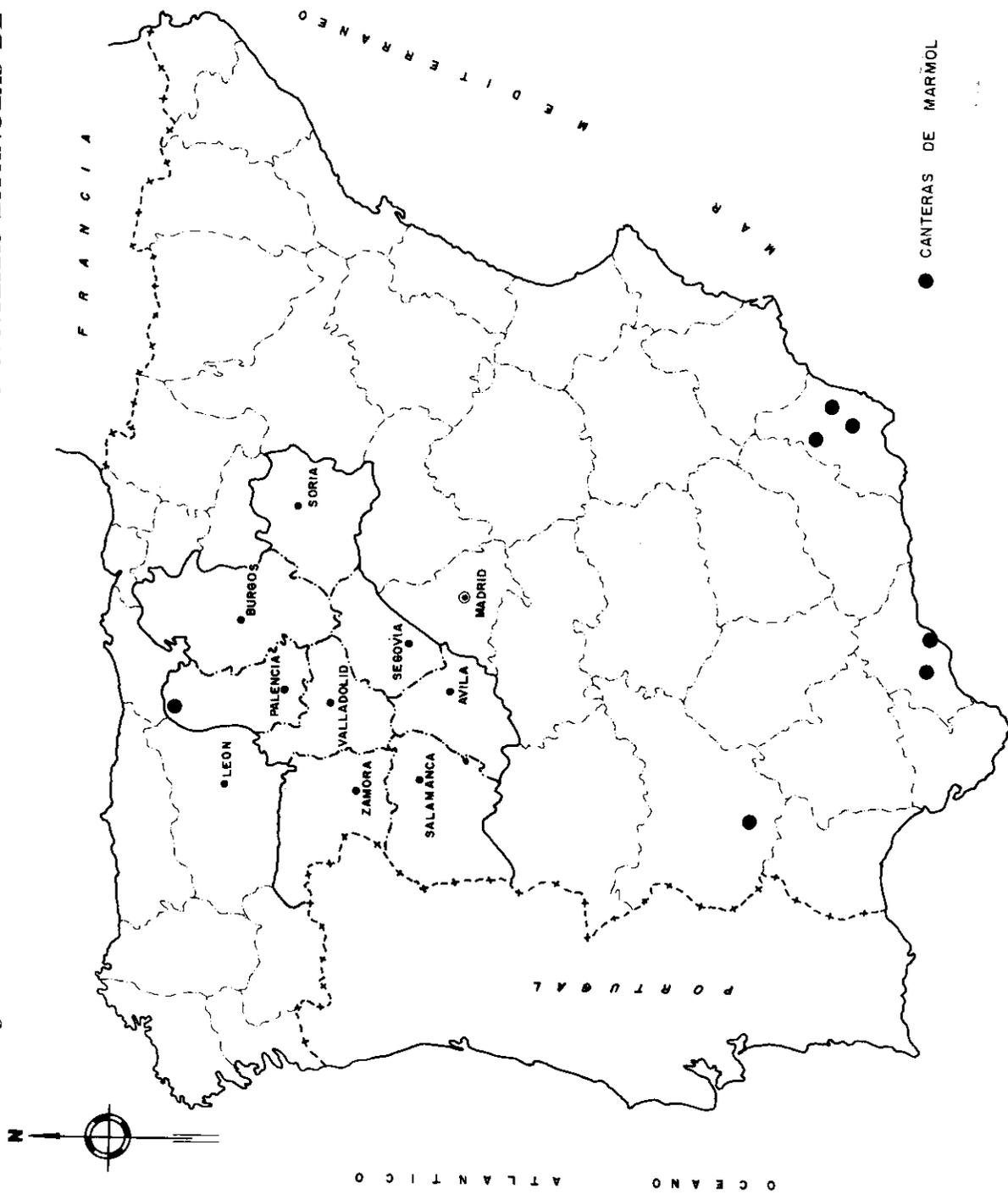


Fig. I. 2. m. 31: SITUACION DE LAS ZONAS ESPAÑOLAS POTENCIALES PRODUCTORAS DE PIZARRAS

