

MANUEL RODRIGUEZ GALLEGO  
CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

400840  
MADE IN SPAIN



Simientes y Hombres



DISCURSO DE APERTURA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA  
CURSO 1987-88

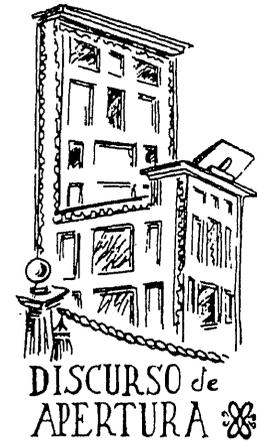
MANUEL RODRIGUEZ GALLEGO  
CATEDRATICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

# Minerales y Hombres



DISCURSO DE APERTURA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA  
CURSO 1987-88

## MINERALES Y HOMBRES



MANUEL RODRIGUEZ GALLEGO  
CATEDRATICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA  
GRANADA  
N.º Documento 86450  
N.º Copia 241471

## Minerales y Hombres

DISCURSO DE APERTURA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA  
CURSO 1987-88

UNIVERSIDAD DE GRANADA. DISCURSO DE APERTURA DEL CURSO ACADÉMICO 1987-1988. Edita e imprime: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada. Campus Universitario de Cartuja. Antiguo Colegio Máximo. Depósito legal: GR/659-1987.

*Impreso en España*

*Printed in Spain*

Excmo. Sr. Rector Magnífico  
Excmas. e Iltsas. Autoridades  
Sres. Profesores y Alumnos  
Sras. y Sres.

Atendiendo al turno reglamentario, me corresponde el honor de pronunciar la lección inaugural del Curso 1987-88.

Ante esta circunstancia no puedo menos que recordar que hace más de veinte años, me encontré en trance idéntico, en la Universidad de Murcia.

Para aquella ocasión escogí un tema relacionado con la Cristolografía y prudentemente lo desarrollé con notable rapidez, lo que me valió felicitaciones cargadas de sinceridad y que manifestaban un discreto agradecimiento.

Juiciosamente esto lo valoré como una demostración colectiva, de lo que más tarde se ha denominado "Síndrome de Estocolmo". Mis oyentes iban preparados para lo peor y cualquier reducción de la tortura prevista, despertaba en ellos un inmerecido reconocimiento e incluso simpatía para con el torturador.

Pese a que el resultado de mi elección podría considerarse como lisonjero, no me ha parecido conveniente repe-

tir la suerte y por ello he decidido escoger un tema Mineralógico, ya que en este área del conocimiento es donde se ha desarrollado de manera preferente mi propia labor investigadora de los últimos veinte años.

La circunstancia de que este discurso ha de ser leído, sin el auxilio de proyecciones, diagramas, etc., hace muy difícil la tarea para un modesto científico. El poeta puede decir orgullosamente: "Me queda la palabra", porque esa es su herramienta y arma exclusiva, pero el naturalista con ella y sólo ella, se siente inerme y desprovisto de recursos.

Por otra parte los Minerales tienen una bien ganada fama de materia dura y áspera de tratar. Lo que si bien se mira es por demás injusto. Todos hemos tenido una precoz experiencia, en íntimo contacto con alguno de ellos que desmiente lo dicho: me refiero naturalmente al Talco.

Pero es que si seguimos con una mínima atención la Historia del Hombre, siempre vamos a encontrarla jalonada por hitos más o menos directamente relacionados con los minerales o los elementos y productos derivados de su tecnología.

Así pues, podremos seguir la historia social y cultural de la humanidad, prestando atención a los minerales que le son conocidos e indispensables. A una civilización más compleja, acompaña siempre una necesidad mayor y más diversa de ellos. Su búsqueda y explotación es causa de exploraciones, fenómenos migratorios y nuevos asentamientos humanos. Muchas veces tienen lugar conflictos violentos, por la posesión de yacimientos de especial utilidad o por la búsqueda de nuevos recursos minerales.

Vale la pena seguir siquiera sea de forma somera, una his-

toria apasionante: la del desarrollo de la cultura y la civilización a través de los conocimientos mineralógicos alcanzados en una determinada época.

Y es que el mineral es primariamente un objeto útil o atractivo (las Gemas) cuya escasez o abundancia condiciona una calidad de vida, desde los albores de la humanidad a nuestros días. Esta dependencia mineral-hombre, lejos de atenuarse al hacerse la civilización más compleja, se acentúa. Basta considerar el número y cantidad de minerales indispensables a una civilización, para tener un criterio seguro de valoración, del grado de desarrollo alcanzado por una comunidad. Así, la adquisición o nueva utilización de un mineral, o los productos de su tecnología, marcan toda una época.

Un rápido recorrido de la historia de los minerales útiles al hombre lo pone de manifiesto.

El Paleolítico, se caracteriza por una industria rudimentaria del Sílex, al que en el Mesolítico (50.000 a. A.C.) se añaden oxi-hidróxidos de hierro, como pigmentos (ocres).

Durante el Neolítico (5.000 a. A.C.) se incorporan nuevos materiales: Ambar, Jade (Nefrita), Arcillas y Oro. Este último, por su belleza, inalterabilidad y escasez, inmediatamente se transforma en indicativo de poder y máimo elemento de trueque. Con el Sílex, es quizás, el mineral que más tempranamente es objeto de comercio, y de una prospección y explotación que podríamos calificar de pre-científica.

El cobre, más abundante y duro que el oro, resulta idóneo para la confección de armas y herramientas que permiten labrar las rocas, e iniciar verdaderas obras de cantería.

Su aparición marca el periodo Eneolítico (4.200 a. A.C.).

El primer bronce probablemente fue consecuencia de una afortunada casualidad. Debió de ser arsenical o antimonial y fruto de un intento de beneficio del cobre, a partir de minerales del grupo de la Tetredrita-Tennantita (los cobres grises arsenicales).

El nuevo "cobre" obtenido, se mostró de superior calidad técnica (más duro y resistente a la corrosión) e incluso más bello que el extraído, de otras menas ricas únicamente en cobre (calcosina, bornita, malaquita, etc.). Nuevos intentos de mejorar sus cualidades, llevarían a la obtención de la aleación: cobre-estaño, el auténtico y más popular bronce, cuyo empleo como material bélico ha durado más de tres mil años, y que todavía goza de múltiples aplicaciones.

La circunstancia de que raramente coinciden en un mismo lugar, minerales de cobre y de estaño, hace presumir una temprana red comercial y de transporte.

Por esta época (3.200 a. A.C.), se labran variedades de yeso; traslúcidas y de grano muy fino (Alabastro) y la coquetería femenina emplea el talco, finamente molido, en su cosmética, así como el Lapislázuli pulverizado, para el sombreado de los párpados. La plata adquiere una importancia notable, sólo inferior al oro, en la joyería y como elemento de trueque.

Hacia el 1.200 a. A.C. surge el Hierro, que más económico que el bronce (sus minerales son abundatísimos), le sustituye en los usos más comunes: armas y herramientas. Se comienza a emplear el mercurio en el beneficio de

menas pobres de oro lo que demuestra un alto grado de conocimientos mineralotectónicos. Su mena, el Cinabrio se utiliza como pigmento y a pesar de su toxicidad como ¡colorete!.

Ya en el mundo de Roma (500 a. A.C.) el zinc y el plomo se incorporan plenamente a la tecnología más común. Este último se emplea extensamente en las conducciones de agua, e incluso en la confección de recipientes de cocina.

A este respecto, existe una curiosa teoría, según la cual la decadencia del Imperio Romano se debió al progresivo envenenamiento de sus clases dirigentes, por acción de las tóxicas sales de plomo que se producirían durante la confección de las complicadas recetas culinarias (tan apreciadas por los gourmards romanos) en vasijas de este peligroso metal.

Aunque no estoy muy seguro del valor que le puedan dar a esta hipótesis mis colegas historiadores del mundo antiguo, al menos hay que reconocerle un "interés mineralógico".

Durante la Edad Media, prosigue la incorporación de nuevos materiales: Feldespato potásico, Oxidos de Manganeso y Cobalto (en la fabricación del Vidrio y esmaltes coloreados). Azufre, Arsénico, Bismuto y Nitro, se añaden a la ya larga lista, de materias minerales útiles. Al mismo tiempo se desarrolla y generaliza un interés peculiar por las gemas y piedras preciosas, a las que se le atribuyen multitud de propiedades, tanto mágicas como terapéuticas. Así surgen numerosos "Lapidarios", de los que es buen ejemplo el famoso de Alfonso X "El Sabio". Casi todos ellos de

origen persa y árabe, son intentos más o menos racionales de descripción de minerales, rocas e incluso restos animales, ordenados de manera sumamente caprichosa y en los que se mezclan realidad y fantasía. No obstante, aparecen intentos serios, con base científica, de clasificaciones Minerales, como son las de Avicena y Alberto Magno. Este último utiliza por primera vez el término Mineral.

Con los inicios de la revolución Industrial, se produce un salto cuantitativo espectacular, en el número de especies minerales que se conocen y utilizan: Fósforo, Fluorita, Calcita, Asbesto, Silvina, Nitrato, Grafito, Magnesita y Dolomita. Se descubren nuevos metales: Platino, Vanadio, Wolframio (estos tres por científicos españoles) entre otros. La Química ha avanzado suficientemente, como para rendir el inapreciable auxilio del Análisis, aplicado al estudio y clasificación de los Minerales.

Ya entrado el siglo XIX, los minerales de Níquel, Cromo, Manganeso, Wolframio y Vanadio adquieren importancia técnica. La Bauxita y la Criolita comienzan a utilizarse para la obtención del aluminio. Pensemos que en la Exposición Universal de 1867, en París, se exhibió como curiosidad científica, un dado de un decímetro de arista, de Aluminio puro.

Respecto de nuestro siglo, el incremento es espectacular: los minerales de Torio, Uranio, Titanio, Zirconio, Fósforo, Boro, Tierras Raras, Molibdeno, Niobio y Tántalo; la Barita, Mica, Vermiculita, Montmorillonita, Sepiolita, etc. se hacen absolutamente indispensables. Decenas de especies consideradas poco más que curiosidades científicas, son hoy, soportes fundamentales de nuestra civilización.

Al mismo tiempo, las cantidades extraídas de la tierra son ingentes. Baste considerar a modo de ejemplo que para la fabricación de un automóvil medio, se necesitan aproximadamente *siete* toneladas de materias primas minerales (incluido el petróleo). Si pensamos que para la construcción de un edificio, se hace necesario extraer materiales, con un volumen total de excavación, similar al de la construcción elevada, se comprende la magnitud del problema. Hemos de ser conscientes que en los últimos veinte años, se han extraído más minerales de la tierra que en toda la historia anterior de la Humanidad.

Este carácter utilitario de los minerales, hizo que prontamente se despertase el interés por conocer cómo se formaban y por ende, cuáles eran las causas por las que se concentraban en yacimientos, en determinadas regiones privilegiadas. El conjunto de sabores adquiridos mediante la observación de la Tierra, dió lugar al nacimiento de una nueva Ciencia: la Geología, de la que la Mineralogía, al par que precursora, constituye parte esencial.

Las mismas teorías sobre la formación de los minerales, han jugado un papel muy importante en la Historia del Hombre.

Aristóteles formuló una, sobre el origen de los minerales en la Tierra, como una consecuencia del influjo de los Astros sobre ella. Puesto que el Sol era el más noble de los cuerpos Celestes sería el que presidió la formación del Oro, y las piedras preciosas.

Estas ideas recogidas por su discípulo Teofrasto, estuvieron vigentes en Europa, a través de los Escolásticos, hasta bien entrado el siglo XVI, y a mi juicio, tuvieron su

importancia en hechos tan trascendentales, como la exploración y Colonización española de las Indias Occidentales.

No cabe duda que durante esta fabulosa aventura, intervinieron personas de muy varia condición: guerreros, misioneros, aventureros, gentes de fortuna, pero también individuos muy versados en los conocimientos científicos de su época.

Por esta misma diversidad de actores hubo evidentemente, una enorme diversidad de objetivos, desde los más idealistas a los más prosáicos, y entre estos últimos no fue el más pequeño, el afán de riquezas, que se materializaba en la búsqueda del oro y otras materias preciosas.

Es razonable pensar que de acuerdo con las mencionadas ideas arsitotélicas, se supondría que los lugares más favorables para hallar estos tesoros de la Naturaleza, serían aquellos en los que el Sol fuese más dominante. Esto es: en el espacio intertropical. Que fue justamente, donde se desarrolló el mayor esfuerzo primero de la exploración española.

Hay que reconocer que los hallazgos de riquísimas minas de Oro, en Perú y Ecuador, de Plata en Durango, Zacatecas, Guanajuato y Potosí (todavía las más ricas del mundo), de Esmeraldas en Muzo, Topacios, Aguasmariñas, Amatistas e incluso Diamantes en Minas Geraes, debió considerarse como un incuestionable respaldo, a la curiosa hipótesis de Aristóteles. Aunque científicos como Alonso Barba se resistiesen a considerar que la actividad terrestre, no tuviere una decisiva importancia, en la formación y concentración de los minerales en los yacimientos.

Pero aventuras en tiempos mucho más remotos, nos traen noticia de exploraciones mineralógicas. Los relatos de los almirantes fenicios: Hammon e Himilcon, mencionan unas islas Casiterides, ricas en mineral de estaño (Casiterita) que se han identificado con las Islas Británias. Aunque también y con cierto fundamento, —dada la existencia de este mineral en sus arenas—, con las galáicas Islas Cíes.

No se puede olvidar que la Iberia fue “El Dorado” del mundo antiguo. Así, el Tarsis bíblico, se identifica con Tartesos, y ciertamente que la riqueza en Oro y Plata de la Hispania está bien testificada. La mina del “Cabezo rajao” cerca de Cartagena figuraba, como parte fundamental de la dote de la princesa ibera madre de Aníbal. Mina que todavía en los años sesenta alcancé a ver en plena actividad. El oro de Río Tinto, el de nuestro familiar Genil (el Singilis romano) el de León etc. fue abundantemente extraído por los romanos. Viejos nombres romances de localidades de nuestra provincia, como Lanteira (Argentaria) o Ferreira, hablan de una riqueza minera que todavía es reconocible.

Un joven grupo de arqueólogos de nuestra Universidad, ha encontrado recientemente restos de poblamientos e industrias del Bronce, en los dominios Nevado-filábride, que explotaban los pequeños filones de Calcopirita que jalonan estas unidades tectónicas. Explotaciones que han continuado hasta tiempos históricos. Las mineralizaciones de ágata, frecuentes en el sur de Almería, probablemente dieron lugar al nombre del Cabo de Gata. (Corrupción del de Cabo de Agata).

Muchas veces grandes fenómenos migratorios han tenido lugar, como consecuencia del hallazgo de regiones

especialmente ricas en minerales preciosos. El famoso "Gold Rush" californiano del 1849, provocó el mayor contingente humano a los Estados Unidos, durante la primera mitad del siglo XIX. En nuestro tiempo, las riquezas minerales de Siberia están desencadenando, la mayor movilización de población ocurrida en el presente siglo, en la Unión Soviética.

En ocasiones, procedimientos ideados para el tratamiento y extracción de minerales valiosos pudieron dar lugar al nacimiento de mitos y leyendas. Así en China y en tiempos remotísimos se desarrolló una ingeniosísima técnica para separar el Oro de arenas de ríos. Estas arenas se hacían pasar, arrastradas por un chorro de agua, sobre pieles de cordero, extendidas sobre tablas. El oro —no mojabable— y con tendencia a adherirse a la grasa, quedaba retenido por el vellón, gracias a su grasa, la lanolina, que lo impregna. Por el contrario, el resto de la arena, —formada esencialmente por silicatos—, con carácter mojabable, era arrastrada por la corriente de agua.

El relato de este proceso, observado por algún curioso viajero, indudablemente sufrió, a lo largo de su transmisión oral, a través de la distancia y el tiempo, una curiosa metamorfosis, transformándose a no dudar en el fantástico relato que hablaba de corderos con la piel áurea: el mítico Vello de Oro, responsable de la Epica micénica de Jasón y los Argonautas.

Otra probable mezcla de realidad y fantasía, pudo dar lugar a uno de los estupendos relatos de Simbad el Marino, recogidos en "Las mil y una noches". Según éste, los mercaderes de Oriente se valían, para conseguir los diamantes de un valle inaccesible, del artificio consistente en arrojar

a su fondo masas de carne. A ellas se adherían las gemas. Luego un ave fantástica: "El Rok" se llevaba estas piezas de carne a su nido, de donde los atrevidos mercaderes, recogían las piedras preciosas.

Algo verosímil hay en este relato: los diamantes se adhieren a la grasa, propiedad que aún en la actualidad, se emplea para su separación de la ganga de kimberlita que les acompaña, en las minas de Africa del Sur. Es muy verosímil que esta propiedad, la de ser lipófila la superficie del diamante fuese conocida, en tiempos remotos y se utilizara, no ya carne, sino grasa animal para su separación de los aluviones diamantíferos. Luego la inventiva añadiría todo lo demás, al gusto del imaginativo narrador oriental, que "oyó campanas y no sabía dónde".

Y si entramos en el mundo de la poesía ¡Válgame Dios qué derroche! Las Filis y Amarilis de turno tiene los cabellos de oro (o azabache, según el gusto) los ojos son zafiros, labios de rubí, corazón de diamante, rostro de mármol, manos de alabastro... En vez de ser de la "materia de los sueños" shakesperiana, parecen sólidos conglomerados poligénicos.

Nada tiene de extraño que nuestro Quevedo, harto de tanto derroche mineralógico, alzara su protesta y en su "Premática contra los poetas hueros, chirles y ebenes" se adelanta a tiempos más prosáicos, y proponga una especie de impuesto sobre el valor añadido, con el fin de moderar tan poético abuso de esa riqueza extraída del Reino Mineral.

Pero abandonemos el atractivo mundo de la leyenda y la poesía y pasemos a examinar someramente cuál es la situación de la economía mineral del momento.

En la exposición previa, ya se han hecho algunas consideraciones, respecto del brutal incremento habido en la cantidad y variedad, de minerales extraídos de la Tierra, que son indispensables a nuestra civilización.

En la tabla 1, se recogen datos sobre el consumo mundial de algunos minerales industriales de mayor importancia. (No se incluyen las menas metálicas, que podríamos llamar clásicas: sulfuros y óxidos de metales pesados). A través de ellos puede seguirse, la evolución experimentada en los últimos veinte años.

TABLA 1

Producción mundial en miles de Tm. (salvo otra indicación).  
Tomado de M. Kuzvart, 1984

<i>Mineral</i>	1960	1970	1980
Asbesto	2.240	3.445	4.818
Barita	1.567	2.204	4.107
Bauxita	25.100	57.700	91.513
Diamantes (miles de quilates)	28.400	43.700	41.638
Fluorita	—	1.890	4.650
Magnesita <sup>1</sup>	7.560	11.130	10.828
Fosfatos	43.545	81.800	134.917
Silvina (en K <sub>2</sub> O)	9.790	18.152	27.871
Azufre	30.600	39.827	56.030
Talco	3.566 (1965)	4.813	6.872
Vermiculita	345 (1965)	387	529 <sup>2</sup>

1. Expresado en MgO. Excluidos EE.UU. y Canadá.

2. Excluidos U.R.S.S. y China Popular.

En la mayoría de los casos, el factor de incremento ha sido de 2 a 3 e incluso superior, en las bauxitas, fosfatos y silvina.

Dejando aparte la bauxita (mena del aluminio, que ha seguido un incremento algo superior al de las restantes menas metálicas), centraremos nuestra atención en los fosfatos y silvina.

Ambas materias se utilizan fundamentalmente en la Agricultura. Unos y otra suministran a los cultivos el fósforo y potasio, nutrientes vegetales indispensables, junto al nitrógeno. Este último por el contrario sólo proviene en cantidades mínimas de los nitratos minerales, ya que en su mayor parte, los abonos nitrogenados derivan, de la síntesis directa a partir del nitrógeno atmosférico, o como subproductos de la industria de petróleo.

Pues bien, el aporte de estos elementos al suelo ha permitido lo que podríamos denominar “silenciosa revolución verde” que en los diez años últimos, ha duplicado el rendimiento por Ha. cultivada.

A pesar de este espectacular desarrollo de la Agricultura, no hay que llamar la atención, por lo sabida, sobre la trágica pesadilla del hambre que azota buena parte de lo que se ha dado en llamar Tercer Mundo. Imaginemos lo que ocurriría si las disponibilidades de estos minerales, fosfatos y silvina, se viese comprometida.

Respecto del último, hay que decir que es un material relativamente bien distribuido a escala mundial (España es particularmente rica en él). Pero no ocurre igual con los fosfatos. Sus reservas más importantes, se encuentran en los EE.UU., Unión Soviética y una franja del NO africano que se extiende por territorios de Argelia, Marruecos y lo que fue Sahara Español. En su conjunto, constituyen más de 90% de los recursos conocidos en este mineral.

Habida cuenta que el incremento anual de consumo previsto es del 5 al 10%, se explica en parte, el brutal incremento de precio experimentado: de 14,2 \$ la tonelada corta en 1973 a 57,75 \$ en 1974. ¡Más del 4.000%! Incremento superior, incluso, al sufrido por el petróleo en esos mismos años. Dado que en los próximos 2-6 años, la Unión Soviética consumirá toda su producción (Kuzvart 1984), el suministro de Europa dependerá muy marcadamente del Mercado Norteafricano. Salvo que se descubran nuevos depósitos.

En cuanto a la bauxita, más de la mitad del total mundial, proviene de las Antillas (Jamaica y Cuba) y Sureste asiático. Únicamente Australia, Yugoslavia y Hungría, en el mundo desarrollado, pueden considerarse libres de problemas, respecto de este material indispensable.

Otras materias como diamantes, oro, cobre, níquel, cromo, cobalto y estaño, provienen en su mayor parte del cono sur africano o americano. Resulta, que si a estos minerales, añadimos el petróleo y el gas natural, fuera de las dos grandes superpotencias, —que en sus dilatados territorios, disponen prácticamente de todos los recursos minerales que llamamos estratégicos—, Europa y el resto de países del mundo, dependen para subsistir, —con el actual nivel de vida—, de materias cuya extracción y comercialización, escapa en la mayoría de los casos a su control.

Poco a poco, con los países y áreas, productoras mencionadas, de tan importantes recursos, se ha ido dibujando un “mapa” de puntos “claves”, en él curiosamente, se produce una casi perfecta coincidencia con las áreas “calientes” del Globo. Bien en la actualidad, bien en un previsible e indeseable futuro.

Y puesto que ha surgido la palabra futuro ¿por qué no jugar un poco a la futurología Mineralógica? ¿Cuáles serán los requerimientos mineralógicos del mañana?

Verdaderamente no es fácil extrapolar las necesidades actuales a las del mañana. Los hábitos de vida, la Tecnología, pueden cambiar imprevisiblemente, como de hecho ya han cambiado ¿Qué fue de la industria del sílex, hegemónica durante decenas de miles de años? Hoy día un fabricante de hachas de pedernal tiene escasas posibilidades, fuera de contactar con alguna tribu del Amazonas, donde podría encontrar clientela. El sílex ha dejado de ser un mineral útil. El Bronce, el Hierro, incluso el acero, ha cedido terreno a favor de nuevos materiales, como el aluminio, titanio, cerámicos especiales y plásticos. La generalización de la transmisión de señales y quizás de energía mediante microondas y fibras ópticas, indudablemente repercutirá en la minería del cobre.

La progresiva sustitución de las clásicas baterías eléctricas por otras más ligeras, afectarán gravemente a la minería del Plomo. Por el contrario los minerales del Zinc, indirectamente, se beneficiarán de los cada día mayores requerimientos de Cadmio (moderador de los reactores nucleares), elemento que se encuentra larvado en los minerales del Zinc y que es un subproducto de su metalurgia.

Si seguimos la historia de la sucesiva incorporación de nuevos materiales a la industria humana, vemos que secuencialmente aparecen: oro, plata, cobre, estaño, hierro, plomo, antimonio, aluminio, titanio, magnesio y silicio. Cada vez, materiales más ligeros (con algunas excepciones como el plomo, platino y uranio). Pues bien; esta regla parece que se seguirá cumpliendo y los minerales



de boro, litio y berilio tienen un gran futuro. Todos ellos son potenciales combustibles, en los procesos de "fusión nuclear". Proceso en que descansa la esperanza energética de la humanidad.

Además el Boro, será cada vez más necesario, en la futura Agricultura intensiva. Aparte de ser un aditivo que aumenta la resistencia de vidrios, polímeros y aleaciones especiales.

El Litio, aparece como un fuerte competidor del plomo y zinc, en las futuras baterías y pilas eléctricas. Probablemente los sustituirá paulatinamente.

El berilio, jugará junto al magnesio un papel cada vez más importante, incluso reemplazará a otros metales, el aluminio entre ellos, en multitud de derivados metalúrgicos.

Los minerales hinchables de la arcilla y las zeolitas, como consecuencia de su alta capacidad de cambio iónico, tienen ante sí un futuro prometedor, especialmente en el campo de la protección del medio ambiente.

Su utilización en la depuración de aguas residuales de origen industrial, con eliminación de elementos pesados como mercurio arsénico y plomo. SO<sub>2</sub> de gases de combustión (mordenita), de amoniaco (clinoptilolita) y por supuesto, en la fijación de los temidos desechos radiactivos (Sr<sup>90</sup>), aparte de su utilización como soportes de plaguicidas en agricultura.

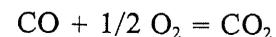
Como ejemplo curioso de aplicaciones de estos minerales, diremos que experiencias recientes, han puesto de manifiesto que la adición de un 5% de Clinoptilolita, a la dieta alimentaria de ganado, mejora su peso hasta un 16% en cerdos y un 8% en pollos. Así es que ya no somos los

minerólogos los únicos en alimentarnos a costa de los Minerales.

La minería del azufre también se ofrece bastante prometedora habida cuenta su utilización, no sólo en los procesos de vulcanizado del caucho, sino en la cada vez más indispensable industria de fertilizantes. Su actividad como fungicida agrícola, con la ventaja de no ser muy contaminante, lo hará cada día más indispensable. Probablemente esta necesidad creciente de azufre, haga que en un futuro se procure con mayor intensidad, su recuperación de los sulfuros metálicos, lo que supondrá una fuerte competencia para la minería de este elemento.

Minerales ricos en selenio, tierras raras, estroncio, galio, germanio, indio, etc. verán incrementada su demanda, dado que la tecnología de nuevos materiales requerirá de sus peculiares propiedades. Aunque algunos de estos elementos no forman minerales propios (galio, indio, germanio), si que aparecen larvados entre otros de elementos más comunes; y aquellos en los que más se concentren, serán objeto de una atención mayor. Así, muchos mineales que actualmente sólo tienen un interés científico, adquirirán un valor comercial.

Muy recientemente, la necesidad de reducir la contaminación ambiental, producida por los motores de explosión, ha introducido en los circuitos de la industria del automóvil, catalizadores que favorecen la reacción:



Un mineral hasta hace muy poco, de interés exclusivamente científico: la Cordierita, ha venido a cubrir esta necesidad, formando como soporte del Platino, el cataliza-

dor que se instala en los sistemas de escape de gases, de los vehículos de países, como los EE.UU., cuya legislación los exige. Recientemente la Comunidad Europea ha previsto disposiciones análogas, para los próximos años. Minerales con características mecánicas y estructurales similares a la Cordierita, podrían ser utilizados también. Nosotros tenemos en marcha un estudio en ese sentido.

Por el contrario, minerales que son objeto de una intensa utilización industrial, probablemente se verán restringido su uso, ya que éste se ha mostrado nocivo para la salud. Ejemplo de esto podrían ser los minerales de plomo: Angle-sita y Cerusita. Largamente empleados como pigmentos, debido a su contenido en este venenoso metal, han dejado de emplearse, siendo sustituidos por óxido de Titanio, tipo Rutilo.

Más problemática se plantea la sustitución del Asbesto de anfíbol. Extensamente empleado en la fabricación de aislantes, tejidos ignífugos, forros de discos de embrague y cintas de frenos de vehículos, aditivo para cementos especiales (fibrocementos) recubrimientos antideslizantes en autopistas, etc. se han mostrado como cancerígenos, tras una larga y reiterada inhalación de su polvo.

Sin embargo, su reemplazamiento por otros minerales de carácter fibroso, pero no cancerígenos; como Crisotilo y Sepiolita, no ha dado resultados satisfactorios, en muchas de esas aplicaciones. Igualmente, las fibras sintéticas vítreas y de polímeros orgánicos, no resultan tan duraderas en sus cualidades técnicas. Por ello se trata de suprimir su utilización, únicamente en los sistemas "abiertos", con alto riesgo de contaminación ambiental.

Un problema análogo se plantea con el mercurio y sus derivados. Su utilización se restringe a procesos industriales "cerrados" no contaminantes.

Del mismo modo la fluorita, dado el carácter tóxico del flúor y sus derivados volátiles (muy empleados en sistemas de refrigeración), ha hecho más cauta su utilización industrial, y cabe que en un futuro próximo se establezcan restricciones más severas, para sistemas industriales con vertidos al exterior.

Pero en compensación, la cada vez más frecuente utilización de altas energías, obligará al desarrollo de materiales cerámicos refractarios: el olivino, andalucita, silimanita, cianita, talco, pirofilita, vermiculita, zircón, entre otros minerales, se verán indudablemente favorecidos.

La moderna industria del silicio, pese a su pujanza actual no es previsible que tenga una gran repercusión en la minería del cuarzo, su principal mena. Este mineral, va siendo paulatinamente reemplazado en la industria electrónica, por los cuarzos sintéticos. Algo análogo ocurrirá con el diamante industrial, que tiende a ser sustituido por el diamante artificial.

Hay un grupo de silicatos, por otra parte, sumamente corrientes: Clorita, Biotita, Anfíboles ferromagnesianos, que hasta el momento no tiene apenas utilidad. Todos ellos poseen en común el que junto a grupos OH, albergan en su estructura átomos de hierro en sus dos estados de oxidación:  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$ . Son de color oscuro o negro, debido a que la luz es absorbida, produciéndose transiciones electrónicas entre los átomos metálicos vecinos. Cabe pensar que presentan una capacidad potencial para transformar o

almacenar la energía luminosa, convirtiéndola en otras formas de energía más prácticas.

Otro grupo de minerales: oxi-hidróxidos, —entre ellos la Bohemita— muestran una apreciable conductividad protónica (Mata 1977). Esta propiedad, interesante sin duda, no ha adquirido utilidad, pero indudablemente puede tenerla, mediante la adecuada tecnología todavía por diseñar.

Cuando escribo estas líneas creo ver un rostro en el que se dibuja una sonrisa entre burlona y conmisericordiosa. Es el rostro de un improbable lector futuro. ¿Cuánto de lo dicho se confirmará? ¿Cuánto se quedará en mera especulación?

¡Ah! y todo eso si la explosiva mezcla de soberbia, envidia y estupidez humana, no termina por desencadenar, ¡Dios no lo quiera!, el holocausto nuclear. En ese caso terrible, me atrevo a predecir que la pobre humanidad superviviente, asistirá a un florecimiento espectacular de una industria: la del sílex.

Llegado a este punto estoy seguro que mis pacientísimos oyentes están convencidos de dos cosas:

1. De lo pesado que puede ser un profesor de Mineralogía, y
2. De lo importante que puede ser los minerales.

No estimo oportuno, por su obviedad, entrar en consideraciones sobre el primer aserto y pasaremos sin más a examinar un hecho fundamental relacionado con el segundo: Dada la necesidad de minerales cada vez mayor y más diversa. ¿Qué posibilidades hay de satisfacerla en un futuro?

Para un intento de respuesta, veamos primero la producción anual de materiales extraídos de la Tierra, recogidos en la Tabla II.

TABLA II  
Producción anual de materiales (Kuzvart, 1984)

<i>Material</i>	<i>Millones de Tm</i>
Combustibles	6.850
Materiales de construcción	9.000
Minerales y rocas industriales	750
Concentrados de menas	930
Hierro (Acero)	600
Metales no férreos	19

Al no ser los combustibles (carbones, hidrocarburos) minerales en un sentido estricto, no entraremos en su análisis.

En cuanto a los materiales de construcción (cementos, arenas, gravas, arcillas) y al Hierro, digamos inmediatamente que su futuro no es preocupante. Dado lo ingente de las reservas conocidas, pueden considerarse prácticamente inagotables.

El panorama ya no es tan optimista, respecto de los minerales y rocas industriales. Aunque muchos de los más recientemente incorporados, o son muy abundantes o bien pueden ser sustituidos por otros. Tal es el caso de las bauxitas; las arcillas rojas, los caolines, la haloisita, fácilmente podrían ser menas alternativas para la industria del aluminio.

El problema más grave lo plantean los fertilizantes y muy especialmente los fosfatos. Aunque las reservas de

Florida y Norte de Africa son ingentes, se impone una prospección mundial, de nuevos depósitos, especialmente en Europa.

Los boratos que cada día adquieren más importancia, se encuentran en cantidades enormes en: California, Turquía, URSS y Australia. Pero en la Comunidad Europea, sólo Italia produce una pequeña cantidad. España por otra parte dada su abundancia en evaporitas, es potencialmente interesante para su prospección.

En relación con los minerales de Berilio y Litio, Madagascar, Mozambique y otras áreas del SE africano, aparecen especialmente privilegiadas junto con la India.

Pasemos a considerar el apartado de concentrados de menas y metales no féreos.

Aquí el problema es de cierta importancia. Sin temor a una próxima escasez, muchos de los más famosos yacimientos, o están agotados o a punto de estarlo. Se impone la prospección de nuevas áreas. Pero en último extremo existe una posibilidad, en los fondos oceánicos.

Efectivamente, en zonas lejanas del talud continental y por ende las aguas jurisdiccionales, existen ingentes cantidades de nódulos de tamaño variable —desde unos milímetros al decímetro—, formados principalmente por oxihidróxidos de manganeso, que contienen variables cantidades de otros elementos muy importantes: Níquel, Cobalto, Cromo, Vanadio, Molibdeno, Bario, etc.

Aunque el manganeso es un elemento abundante en áreas emergidas y no plantea problemas de futura escasez, el níquel fundamentalmente y el resto de elementos men-

cionados hacen potencialmente interesante la extracción de esos nódulos. Dado el avance en la tecnología de la explotación submarina de petróleo, no resulta descabellado pensar en una futura minería oceánica. Aunque para ello sería necesario, no sólo diseñar nuevos tipos de plataformas marinas y resolver multitud de graves dificultades tecnológicas, sino que ello plantearía tantos problemas de protección del medio marino, como de derecho internacional que tendrían que ser discutidos y resueltos, a nivel mundial.

Pero hay que tener en cuenta que la tecnología del beneficio de menas pobres, se ha desarrollado de forma espectacular, de manera que depósitos marginales, pobres, no rentables hoy día lo podrán ser en un futuro. Eso sí, a condición de disponer de energía barata, ya que el costo energético del beneficio de una mena crece exponencialmente, a medida que ésta presenta una ley más baja.

Pero los minerales no son únicamente objetos útiles, fuentes de bienestar y riqueza; son el producto de la reactividad de la Tierra. Ellos aportan un caudal de conocimientos sobre el origen, composición, naturaleza e Historia del Mundo en que vivimos. Constituyen por así decirlo, páginas cruciales de la Memoria Geológica de nuestra Tierra, e incluso hoy día podemos decir con cierto fundamento: de la Historia Geológica de nuestro Sistema Solar.

Concretamente, el estudio de los meteoritos, —cuyo origen más generalmente aceptado, lo sitúa en los cuerpos planetesimales, de nuestro sistema—, ha puesto de manifiesto, junto a notables analogías químicas y mineralógicas, con

los materiales terrestres (lo que aboga por un origen común) curiosas diferencias. Así por ejemplo, su edad absoluta. Mientras que los materiales más antiguos de la corteza terrestre son de  $3,8 \times 10^9$  años (no muy diferente de los  $3,9 \times 10^9$  años para algunas rocas lunares), la edad de algunos meteoritos alcanza los  $4,4 \times 10^9$  años. Su estudio, por tanto, nos aleja en el tiempo, aproximándonos al momento de la formación del Sistema Solar.

La exploración lunar y los envíos de sondas a Marte y Venus han proporcionado muestras de rocas lunares en un caso, o bien datos analíticos relativamente precisos, de la superficie de esos planetas. Los resultados de esta exploración, todavía embrionaria han confirmado muchas hipótesis, sobre la constancia de los procesos mineralogénicos en el sistema solar.

Por otra parte los fenómenos de metamorfismo de choque, tan característicos y frecuentes en los materiales lunares, han esclarecido el origen de cuerpos vítreos (Tectitas) terrestres y que habían sido objeto de diferentes hipótesis. Por su analogía con otros materiales semejantes, de la regolita lunar, se consideran restos fundidos, de rocas terrestres de zonas de impacto de meteoritos.

También el estudio de los meteoritos ha permitido penetrar, al menos por la vía de hipótesis, en el conocimiento del interior de nuestro Planeta, asimilándolo a la composición de los condritos, sideritos y siderolitos; de acuerdo con la vieja teoría de Goldschmidt. Cabe esperar que los resultados del Proyecto internacional Lithos, con sondeos profundos, confirmen algunos aspectos de tan interesantes ideas.

Una ventaja de la Mineralogía frente a otras Ciencias Geológicas, es que admite no sólo la observación sino la experimentación. Por ello los estudios de síntesis mineral, permiten determinar tanto las condiciones de Presión, Temperatura, ambiente químico, etc. en las que se forman, sino el intervalo de estas variables, en el cual el mineral es estable. Se puede seguir con exactitud la cinética de las reacciones y equilibrios minerales. Todo ello desvela los procesos naturales que les dieron origen. Este tipo de estudios experimentales, suministran datos precisos sobre los valores de las variables termodinámicas intensivas: P. y T. fugacidad de Oxígeno, etc. y sus fluctuaciones a lo largo de la Historia Geológica.

La alteración experimental de los minerales, revela el comportamiento de los mismos, frente a los cambios ambientales que han tenido lugar, después de su formación.

Estos procesos naturales de alteración, han dado lugar a hechos tan trascendentales para la vida en la Tierra, como es la formación del suelo vegetal. Podemos decir sin asomo de exageración que en último extremo, el Hombre es el resultado final de un larguísimo proceso que se inicia y condiciona, por la meteorización de los minerales y por su diferente comportamiento, frente a las condiciones ambientales: variables a lo largo del tiempo.

Nosotros hemos realizado estudios de la alteración de Cloritas, determinando las condiciones de su estabilidad en medios oxidantes y comprobando los cambios en su composición química e incluso la transformación a nuevas fases minerales, en función de las condiciones de altera-

ción, según que ésta tuviera lugar en sistemas abiertos o cerrados.

De manera análoga hemos podido seguir la alteración de micas potásicas y sódicas, en medios con distinta actividad iónica (aguas dulces o saladas) comprobando su distinta estabilidad según que el medio de deposición fuese o no marino.

Dado que estos minerales son sumamente frecuentes, en los materiales metamórficos y sedimentarios de las Béticas, resultan excelentes indicadores de los procesos de meteorización y sedimentación en las cuencas internas, y en resumen, aportan información sobre la evolución geológica de la Región y facilitan su reconstrucción Palimpástica.

Pero los minerales, no hay que olvidarlo son *sólidos* naturales con composición química definida. Para su estudio no basta conocer la composición química. Poseen una estructura cristalina responsable de buena parte de sus propiedades, entre ellas, la nada infrecuente de aparecer con formas poliédricas, —lo que llamamos *Cristal*—, a veces de extraordinaria belleza.

Esta peculiaridad de los minerales, atrajo la atención de los naturalistas desde tiempos muy antiguos, —recordemos a Plinio—, pero sólo en el siglo XVII Stenon inicia su estudio de manera científica. Más tarde en el XVIII Romé de l'Isle y sobre todo el Abbé Haüy, con sus trabajos dieron lugar a una ciencia nueva, la Cristalografía, que como vemos, aparece como consecuencia del estudio científico de los Minerales cristalizados. Es más, desde su inicio la

Cristalografía se utiliza como un auxilio de la Mineralogía, suministrando medios de identificación mineral y criterios, para su clasificación.

El hecho de que fuesen franceses los “padres” de esta nueva ciencia, hizo que entre los minerólogos de esta nacionalidad, se desarrollase una marcada tendencia a magnificar el criterio: Morfología cristalina, en la clasificación Mineral, en contraposición de las escuelas mineralógicas “químicas” que dominaban el panorama científico centroeuropeo; alemanes como Klaproth, Bergmann, Widenmann o suecos como Berzelius. Todos ellos sobrestimaban a su vez los criterios “químicos”, en la sistemática Mineral.

Hizo falta más de un siglo de polémica, por otra parte sumamente fructífera, para lograr que convergieran ambas tendencias, armonizándose en la visión químico-estructural que preside hoy el mundo de la Mineralogía Sistemática.

La Cristalografía ha adquirido a partir del descubrimiento de Laue (1912) de la difracción de los Rayos X, una importancia y un ámbito de aplicación que rebasa con mucho el estrecho campo de los minerales. Se ha hecho una ciencia de universal aplicación, en el mundo de los sólidos, tanto inorgánicos como orgánicos.

Paradójicamente este éxito le ha llevado en los últimos tiempos a una paulatina separación de la Mineralogía, con la que tan fructífero sinergismo mantuvo. El éxito de la Cristalografía en los campos de la síntesis molecular, la Bioquímica y la Farmacología, ha derivado la atención de muchos de sus cultivadores hacia estas áreas del conoci-

miento. Como un fenómeno reflejo, esta postura ha provocado un cierto rechazo de ella, entre los colegas investigadores de las ciencias Geológicas. Esto es verdaderamente triste. En palabras del Profesor Wyart (1978) "Una Mineralogía sin Cristalografía sería una mera Petrografía". Una ciencia puramente descriptiva que se cierra y limita a si misma, su futuro.

Este problema universal, es especialmente grave en nuestro país. Circunstancias históricas abundan para que este divorcio, encuentre terreno propicio. Veámoslas con una mínima atención.

El interés por las ciencias Mineralógicas es antiguo en nuestra España, aunque casi siempre impregnado de una preocupación por la inmediata aplicación práctica; esto es, se ha enfocado preferentemente al estudio de minerales y depósitos de interés económico.

A mediados del siglo XVIII, se inicia un reencuentro de los científicos españoles, —tanto tiempo aislados—, con sus colegas del resto de las brillantes escuelas europeas.

Por aquellos tiempos la de Minas de Friburgo, con Werner y Windenmann a la cabeza, es el centro del conocimiento minero del Continente. Muy acertadamente, a ella se dirigen jóvenes estudiosos españoles: los hermanos Erlhuyar, Sanz del Río, etc. Por otra parte un discípulo de Windenmann: Cristian Hergen, viene a España para hacerse cargo del cuidado del Real Gabinete Mineralógico, la más rica colección de minerales de su tiempo. Poco después, el mismo Hergen se encarga de la traducción de la obra "Oritognosia" de Windenmann. Excelente tratado de Mineralogía, que casi simultáneamente era traducido y

editado por Sanz del Río en Méjico. Corrían los últimos años del siglo XVIII.

Con estos antecedentes, se explica que los minerólogos españoles del XIX, se encontraran muy en contacto con las escuelas alemanas, en las que como ya se ha dicho, prevalecía el criterio químico y genético, con exclusión de cualquier otro. Así pues, las características cristalográficas de los minerales, tan destacadas por Haüy y sus discípulos franceses e italianos, no merecieron la atención que debían, en España. Que yo sepa todavía no se ha hecho una traducción de la obra de l'Isle (y eso que iba dedicada a un español: Dávila). Más sorprendente aún, la de Haüy, permanece inédita en castellano.

Consecuencia de todo esto fue que mientras los estudios mineralógicos españoles adquirieron un nivel aceptable, —incluso brillante, si se contempla el número de especies descubiertas en España por españoles—, los estudios cristalográficos resultan prácticamente inexistentes.

Es probable que ese desequilibrio inicial, que se prolongó hasta bien entrado el presente siglo, ha contribuido a rodear la Cristalografía, entre nosotros, de un halo de Ciencia abstracta y de escasa utilidad. Sólo a partir de los años cincuenta comienzan a desarrollarse las investigaciones cristalográficas puras, excelentes, pero que en muchos casos, —quizás como una reacción al ambiente—, han prescindido de su proyección mineralógica, centrándose más en el estudio de nuevos compuestos de síntesis y a la Física del Estado Sólido, de materiales artificiales, Todo lo cual no ha hecho sino añadir argumentos a los partidarios de su separación e incluso desaparición real de los estudios de Ciencias Geológicas.

Y nunca más inoportuna la separación que en estos momentos. Al profundizar en el conocimiento de los sólidos cristalinos, y concomitantemente en los Minerales, gracias a los nuevos métodos de análisis de la materia, —hijos en buena parte del avance de la Cristalografía—, se ha puesto de manifiesto un conjunto de fenómenos que suponen una profunda desviación de la concepción del sólido cristalino, caracterizado por la ordenación periódica y perfecta de la materia de su interior. El Cristal y el Mineral *Real*, presenta multitud de defectos, que precisamente les confieren cualidades sumamente interesantes, —a veces de enorme importancia técnica—, al modificar propiedades tales como: dureza, elasticidad, color, conductividad eléctrica, etc. Pensemos que la moderna electrónica de componentes sólidos, ha nacido precisamente del estudio de estas imperfecciones.

La materia sólida es mucho más reactiva de lo que se creía. Así del carácter un tanto estático de perfección e inmutabilidad apolínea, con que se veía al cristal, se ha pasado a una nueva concepción mucho más dinámica, diónisiaca, —si vale la expresión—, infinitamente más interesante, del mineral real.

Pues bien, estos defectos en los minerales se generan por sutiles cambios en el medio en que están creciendo, o bien se producen más tarde, como consecuencia de fluctuaciones de la presión, temperatura, pH, Eh, tensiones, radiaciones, etc. En resumen, las variaciones de todos estos agentes que han presidido la actividad cortical, quedan de algún modo registradas, muchas veces bajo la forma de defectos cristalinos en el Mineral. Así, pues, éste se transforma en

cronista, fiel y por menudo, de la Historia geológica de la porción de corteza terrestre en la que se encuentra.

El estudio de las imperfecciones de los minerales, se inicia con un carácter sistemático, a partir de los años sesenta, y muy especialmente por los minerólogos de arcillas. Materiales con muy pobre cristalinidad (tamaño de cristal sumamente pequeño, de dos micras y menos) eran ejemplo patente de lo lejos que puede encontrarse la materia mineral de la pretendida perfección cristalina. Nosotros iniciamos nuestros estudios de cristalinidad de filosilicatos, con el grupo de montmorillonita, encontrando una relación entre perfección cristalina y composición química (Rodríguez Gallego et al. 1964).

Pero el estudio pormenorizado no ya de la “cristalinidad” sino de defectos concretos se muestra sumamente prometedor. Citemos a modo de ejemplo las imperfecciones ligadas a los fenómenos de irradiación. Estas pueden ponerse de manifiesto mediante la técnica de Resonancia Paramagnética Electrónica, en minerales sin elementos de transición. Tal es el caso de minerales tan frecuentes como el cuarzo, y la caolinita.

Para el Cuarzo, Chatagnon (1986) ha demostrado que la estabilidad térmica y cinética de formación de centros, permite utilizar su estudio cuantizado, para medir las anomalías radiactivas del medio en donde se encuentre el mineral. Lo que abre la posibilidad de efectuar medidas fiables de Paleoradioactividad.

Esta nueva concepción del mineral real, defectoso, es en parte fruto del avance espectacular conseguido, en los métodos desarrollados en los últimos tiempos para el estu-

dio de los sólidos. La microscopía electrónica de alta resolución, ha puesto en entredicho la pretendida homogeneidad del mineral. Consecuencia de ello es que en muchos casos el concepto de especie mineral y variedad mineral, tendrá que ser revisado. La presencia de impurezas, intercrecimientos, precipitados interlamelares, etc. a veces a tamaños de unos pocos Amstrongs, arrojan una duda más que razonable, sobre muchas fórmulas mineralógicas y admitidas sustituciones isomórficas. Dejan pocas posibilidades a los métodos analíticos convencionales, incluso a los más modernos como la Microsonda electrónica. Hoy por hoy, sólo los métodos basados en la difracción de Rayos X parecen ofrecer suficiente garantía.

A la vista de todo esto podría decirse que mientras que los métodos clásicos de estudio de los minerales nos daban una imagen idealizada de ellos. Nos hacían verlos como "debían de ser", las modernas técnicas nos los muestran como son; llenos de imperfecciones.

Esta nueva situación de la Mineralogía resulta de lo más prometedora. Nos enfrenta a un futuro, con una Ciencia venerable que bruscamente se ha rejuvenecido en estos últimos años. Aparece pues, cargada de interrogantes y por tanto de promesas de nuevos conocimientos.

Pero eso sí, necesitamos de la Geología que nos sitúa al mineral en su contexto natural, como fruto de la dinámica terrestre, y necesitamos de la Cristalografía, de la Física del Estado sólido, del concurso de *todos* los métodos del Análisis de materiales, si queremos penetrar en ese mundo casi virgen que tan atrayente se nos ofrece.

Estamos en una situación análoga a la de los estudiosos

del mundo egipcio, en el momento que se descifra la Piedra Rosetta, por Champolion. Sería trágico para la Mineralogía y por tanto para la Ciencia española, no tomar conciencia de la importancia del momento y sería imperdonable por nuestra parte, no procurar de todos los recursos de las Ciencias afines y que como ya hemos visto, poseen los medios para penetrar en este nuevo capital o de la Mineralogía que tan tentador se ofrece a nuestros ojos. Sólo beneficios para el Conocimiento se derivarán de ello y como es natural para el Hombre, último receptor de ellos y a cuyo perfeccionamiento material y moral, se han de dirigir todos los esfuerzos de cualquier científico merecedor de ese nombre.

He dicho.

#### BIBLIOGRAFIA

Chatagnon, J. (1986) in: Cala G. (1987) Spectrometrie des défauts et des Impurites dans les Silicates. Bull. de Minéralogie. 110 pp. 64.

Kuzvart, M. Industrial Minerals and Rocks. Elsevier. Amsterdam, 1984.

Mata Arjona, A. Defectos reticulares y movilidad protónica en la Bohemita. Monografía de Ciencias Modernas. n.º 85. C.S.I.C. Madrid, 1977.

Rodríguez Gallego, M.; Martín Vivaldi, J. L. y Martín Pozas, J. M. (1964). Análisis de filosilicatos por difracción de Rayos X. III. Influencia de la Cristalinidad. II R. G. Espa. de Cristalografía Pura y Aplicada. Abstract 17-18. Madrid, 1964.

Rodríguez Gallego, M. (1985). Crystalline defects in Layer Silicates. Miner. Petrog. Acta vol. 29A pp. 55-70.

Rodríguez Gallego, M. Mineralogía. Ponencia en: Prospectiva en Ciencias de la Tierra. C.A.I.C.Y.T. y C.S.I.C. pp. 139-145. Madrid, 1986.

Wolfe, J. A. Mineral Resources (A World Review) Chapman and Hall. New York, 1984.