

2. Conceptos fundamentales de la Mineralogía

En el período científico propiamente dicho de su historia la mineralogía conoce 3 etapas principales conforme al nivel de conocimiento de la naturaleza y las propiedades de los minerales que se pueden llamar la etapa física, la química y la cristalocímica (Ostroumov, 1989). A cada etapa corresponde una nueva diferenciación de la mineralogía con la formación de nuevas ciencias y la modificación conveniente de la definición de sus conceptos principales. Actualmente, en la etapa cristalocímica, cuando ya está conocida suficientemente la naturaleza del mineral, como la unión de su composición química y la estructura cristalina y se establecen las leyes de correlación mutua y las variaciones de esos dos aspectos principales del mineral, es necesario definir de manera correcta y completa todos los conceptos fundamentales de la mineralogía, en primer lugar, todo lo que puede confirmar el nivel fundamental de esta ciencia, las categorías taxonómicas y clasificación de los minerales.

En los comienzos de la etapa científica del desarrollo de la mineralogía los investigadores prestaban mayor atención al descubrimiento y la descripción de los minerales nuevos. Pero con el tiempo a medida que se acumulaba una enorme cantidad de datos resultó necesaria la elaboración de los principios de la clasificación de los minerales. Por aquel entonces (a comienzos del siglo XIX) muchos mineralogistas elaboraron diferentes clasificaciones y crearon con esta finalidad una serie de las categorías taxonómicas. Actualmente existen algunas diferencias entre las clasificaciones mineralógicas utilizadas en las escuelas europeas y americanas (por ejemplo, por dos conceptos fundamentales relativos a los objetos de la mineralogía: el de individuo mineral y el de especie mineral). Por eso, teniendo en cuenta estas diferencias hemos propuesto la clasificación actual que permite utilizar todos los aspectos positivos de diferentes escuelas mineralógicas.

Las definiciones correctas de los conceptos fundamentales de la Mineralogía son de suma importancia teórica y práctica ya que determinan la posición de sus objetos de estudio con respecto a los de otras ciencias y permiten deducir las propiedades de dichos objetos. Estas definiciones tienen que basarse en la naturaleza del mineral y las leyes del desarrollo de la corteza terrestre, las que determinan la selección de los métodos de estudio de esta ciencia. Conforme a las ideas modernas, la mineralogía es la ciencia de los minerales, su constitución y sus propiedades, las leyes de su formación, desarrollo, alteración y desaparición.

2.1. Definición del concepto de “mineral”.

Es enorme el número total de definiciones del concepto de "mineral". Ello refleja la vía histórica del desarrollo de la mineralogía y la existencia de diferentes escuelas científicas cuyas ideas sobre el objeto y las tareas de esta ciencia, así como los métodos de estudio diferían mucho.

En cada etapa de diferenciación de la Mineralogía, a la que correspondió una reducción del número de sus objetos, los investigadores tratan de formular una nueva definición del concepto de mineral, que correspondiera más correctamente con nuevo contenido.

Todas las definiciones actuales de este término son semejantes por sus rasgos esenciales. Según las últimas representaciones, el concepto de "mineral" se caracteriza por los índices principales siguientes:

1. El mineral es un cuerpo cristalino,
2. El mineral es un producto de los procesos físicos químicos naturales que se desarrollan en la corteza terrestre y sus capas adyacentes,
3. El mineral forma parte integrante de rocas menas y otros agregados minerales.

Dicho de otro modo, el mineral se determina como una sustancia química natural con estructura cristalina. Las tentativas de extender el concepto de "mineral" sobre objetos complementarios (cuerpos cósmicos, sustancias orgánicas, vidrios volcánicos, productos

sintéticos, etc.) algunos investigadores las consideran como erróneas, en cuanto a la definición tendría un carácter muy amplio: el mineral sería casi cualquier cuerpo sólido. No obstante otros científicos consideran este problema poco importante. Según ellos la definición representa solamente los límites convencionales de la aplicación del concepto de mineral, admitido por los especialistas. En efecto, la definición de mineral puede variar a medida que se precisa su composición química y estructura cristalina.

Además, algunas sustancias pueden excluirse del mundo mineral y otras por el contrario, van a parar allí conforme a la ampliación de nuestros conocimientos sobre el carácter discreto y las características principales de la materia, que determinan su estado líquido, sólido o gaseoso. Así pues, se pueden distinguir dos puntos de vista en lo referente al concepto de mineral. El primero lo toma en su sentido más general y abarca más ampliamente las formaciones naturales (línea de Bufón - Lomonosov-Vernadski) y el segundo utiliza los límites más estrechos de ese campo admitiendo como minerales solos los cristales (línea de Lineo - Hauy - Severguin).

A juzgar por las publicaciones científicas recientes, este segundo punto de vista tiene más partidarios. Sin embargo, es muy importante resaltar que a veces afectan el carácter lógico y exacto de las definiciones de categorías taxonómicas y complicadas de los minerales propuestos por diferentes autores. En primer lugar: el mundo mineral, así como entre los objetos de estudio de otras ciencias, existen tanto objetos típicos propios de este mundo como atípicos, que no poseen uno u otro índice del mineral (ámbar, ópalo, productos amorfos de la descomposición metamicta de los minerales etc.) Estos últimos no corresponden perfectamente a la definición del concepto de mineral arriba propuesto, pero sin lugar a dudas son objetos de la mineralogía. A estos objetos se les propone llamar "mineraloides" según el sentido de esta palabra, ellos son semejantes a los minerales.

En segundo lugar: unos compuestos químicos naturales con una estructura cristalina, o

sea, minerales desde hace mucho tiempo son objetos de investigación de otras ciencias, por ejemplo, las condiciones de formación y el crecimiento de los cristales de hielo, así como las propiedades de diferentes modificaciones polimorfas de esta sustancia se estudian por la glaciología, ingeniería geológica, ciencias de suelos; ciertos fosfatos, carbonatos y oxalatos se forman en los organismos vivos - por medicina, etc.

El problema de la formación de una correcta idea sobre los objetos de la mineralogía tiene su historia algo compleja. En los comienzos de la etapa científica del desarrollo de esta ciencia, los investigadores prestaban mayor atención al descubrimiento y la descripción de los minerales nuevos. Pero con el tiempo a medida que se acumulaba una enorme cantidad de datos, resultó necesaria la elaboración de los principios de la clasificación de los minerales. Por aquél entonces (a comienzos del siglo XIX) muchos mineralogistas elaboraron diferentes sistemas mineralógicos y realizándolos crearon dos conceptos fundamentales relativos a los objetos de la mineralogía: el de individuo mineral y el de especie mineral.

El individuo mineral es una acumulación natural (un grano o un cristal) de las sustancias homogéneas por su composición química separándose esta acumulación de las demás mediante límites naturales. Al principio, la palabra "mineral" se utilizaba para designar a un individuo mineral. En la naturaleza, el número de individuos minerales es ilimitado.

El concepto de especie mineral fue elaborado para resolver las tareas relacionadas con la clasificación de los individuos minerales. Las especies minerales son mucho menos numerosas (hoy día son alrededor de 4000 especies) que los individuos ya que cualesquiera que sean las variaciones de las propiedades de esos últimos y sus formas de existencia, existen muchos individuos cuya constitución es idéntica. Esta fue la base para la definición del concepto de especie mineral que es el conjunto de individuos minerales semejantes por su composición química y estructura cristalina. Aquí conviene subrayar que este concepto es de carácter

generalizado abstracto, es decir, no representa un conjunto material de unos individuos sino que refleja sus rasgos más característicos. Así como cualquier especie es la totalidad de los individuos, el concepto de especie mineral puede referirse solamente para las fases cristalinas en la naturaleza, ya que solamente pueden formar los individuos, los gases y los líquidos están en la naturaleza en otra forma y por eso ellos no son objetos de la mineralogía.

El desarrollo ulterior de la mineralogía, se vinculada estrechamente con el de la industria minera y se realizaba conforme a las exigencias de esta última. Ello ejerció una influencia considerable sobre las modificaciones de las ideas ya formadas acerca de los objetos de esta ciencia. Desde entonces como tales se consideraban sólo las especies minerales y finalmente el concepto de mineral coincidió con el de especie mineral. Por eso en los manuales y libros de consulta de la mineralogía, incluso los más recientes, se trata sólo del mineral y no aparecen los conceptos de individuo mineral y de especie mineral.

Esta situación se explica fácilmente por el hecho de que los individuos minerales fueron poco interesantes para la industria minera. Sin embargo, en los últimos tiempos los individuos minerales atraen nuevamente la atención de los mineralogistas por cuanto la industria de minerales útiles no-metales tiene mucho interés práctico en determinadas propiedades de los individuos minerales concretos. Al mismo tiempo que en la práctica se hace importante el estudio de los individuos minerales, renace el interés de los investigadores en lo referente a los problemas de clasificación y sistematización de los minerales y en primer lugar el concepto de especie mineral. Hoy día el concepto de especie mineral se propone como un elemento principal de la sistematización mineralógica. Este abarca todos los índices más importantes de la naturaleza (constitución) del mineral en su conjunto e influencia mutua.

En la naturaleza cada mineral figura como individuos concretos-cristales y granos - de diferente forma y tamaño. Esos individuos integran a los agregados mono- o poliminerales. Para

entender el concepto de especie mineral, es preciso resaltar los índices más importantes de los individuos minerales haciendo caso omiso de los secundarios. Tales índices principales son las semejanzas de la composición química y estructura cristalina de los individuos que se agrupan en la especie mineral dada. Claro que a cada especie mineral corresponden individuos minerales de la misma naturaleza y por eso estos deben caracterizarse por pertenecer al mismo grupo estructural y tener una composición química determinada o que varía de manera continúa dentro de los límites establecidos.

Así pues, la especie mineral es una categoría sistemática que agrupa a todos los individuos minerales cuya composición química y estructura cristalina son semejantes, siendo estos dos índices constantes o variando constantemente dentro de los límites determinados.

En los últimos tiempos, los científicos tienen la tendencia de elaborar definiciones sobre los conceptos fundamentales, los cuales satisfacen a todos los objetos que se encuentran en la naturaleza y se describen en la literatura geológica. Tales definiciones son imposibles de elaborar. Por eso actualmente es necesario hacer las definiciones sobre la base de los índices más fundamentales y luego con su ayuda comprobar todos los objetos reales agrupándolos en grupos típicos y atípicos. La mayoría de los investigadores consideran al término mineral como el concepto más general en la mineralogía, como la sustancia inorgánica, cristalina, sólida, que se encuentra en las condiciones naturales.

El concepto "mineral" se utiliza en la ciencia geológica en muchos sentidos, este término es multinumérico y por eso no se puede hacer con él la clasificación de los minerales; para este fin se utiliza el concepto "especie mineral", ya que cualquier especie mineral es la totalidad de los individuos. El concepto "especie mineral" puede referirse solamente para las fases cristalinas. Las fases de gases y de líquidos, sustancias orgánicas y los demás productos amorfos a los rayos X, no son minerales, ya que ellos no forman en la naturaleza individuos.

2.2 Categorías taxonómicas en la Mineralogía contemporánea.

Al comenzar esta parte daremos a conocer las principales categorías taxonómicas que utilizaremos. La unidad taxonómica más alta es el reino (mundo) mineral, en la que se incluye toda la diversidad de las especies minerales que existen en la naturaleza, así como también las variedades y sus variaciones. El reino une todas las unidades taxonómicas. Las categorías taxonómicas examinadas del reino mineral son el fundamento para la creación de diferentes sistemas de clasificación.

Sobre el otro polo de la jerarquía mineralógica está la especie mineral, que es la categoría sistemática principal de cada clasificación y la unidad taxonómica más baja. Según los datos modernos la especie mineral es una categoría sistemática, que contiene los individuos minerales, los cuales pueden ser iguales o diferentes en cuanto a su estructura y composición química. El concepto "mineral" se utiliza en la ciencia geológica en muchos sentidos, este término es multinumérico y por eso no se puede hacer con el la clasificación de los minerales; para este fin se utiliza el concepto "especie mineral", ya que cualquier especie mineral es la totalidad de los individuos. El concepto "especie mineral" puede referirse solamente para las fases cristalinas. Las fases de gases y de líquidos, sustancias orgánicas y los demás productos amorfos a los rayos X, no son minerales, ya que ellos no forman en la naturaleza individuos. Se puede comparar la correlación cuantitativa de las diferentes especies que están en la naturaleza (Tabla 2.1).

Comparación entre diferentes reinos por las especies existentes.

Tabla 2.1

Reino	Especies conocidas	Especies nuevas descritas anualmente
Vegetal	300,000	5,000
Animal	2,000,000	10,000
Mineral	4,000	50-60

En primer lugar, esta correlación muestra muy baja diversidad del reino mineral en

comparación con los demás reinos naturales. La restricción del número de especies minerales se explican actualmente por varios factores: a) grado de actividad química de elementos, b) fenómeno de isomorfismo, c) distribución heterogénea de los elementos químicos en formaciones geológicas de la corteza terrestre.

La denominación de especie mineral en la mineralogía significa la independencia y la diferencia principal entre las especies y las categorías inter- o intraespecies: variedades. La tarea más importante de la taxonomía es el establecimiento de las diferencias principales entre las especies. La variedad interespecie es la categoría sistemática de la especie mineral de composición variable, en la cual se separan los miembros extremos de la serie continuamente isomorfa. Es decir, esta es la categoría taxonómica, que representa a la totalidad de los individuos minerales de una especie mineral de composición variable con predominio de los elementos principales interespecies.

En las series isomorfas las variedades interespecies ocupan el mismo nivel que las especies minerales; por lo tanto, en estas series hay que distinguir dos especies minerales (miembros extremos) y entre ellas las variedades interespecies; por ejemplo, las plagioclasas. En esta serie se pueden separar dos especies minerales (albita, anortita) y cuatro variedades interespecies (oligoclasa, andesina, labrador, bitownita). El problema incide en que hasta hoy día no han sido establecidas las fronteras respectivas entre los diferentes miembros de las series isomorfas, como es el caso de las plagioclasas.

En la jerarquía mineralógica la variedad intraespecie siempre ocupa un nivel inferior a la especie mineral. Hay que subrayar que anteriormente los científicos consideraban solamente las variedades intraespecies lo cual no resolvió el problema sobre las denominaciones de los miembros intermedios en las series isomorfas.

Entre estos miembros consideramos dos variedades, primeramente la variedad

intraespecie química que es la totalidad de los individuos minerales de la especie mineral dada, y se distingue por algunas desviaciones en su composición, por ejemplo, la esfalerita de hierro. Segundo, la variedad estructural que se distingue por algunas particularidades estructurales, por ejemplo, cuarzo derecho e izquierdo. En los límites de ciertas variedades químicas o estructurales se pueden distinguir las particularidades complementarias (las propiedades físicas, los detalles de composición química o estructura). Es necesario subrayar que las denominaciones de las especies minerales y las categorías inter e intraespecies son dialécticas y dependen del nivel de nuestros conocimientos. Con el descubrimiento de nuevas especies minerales es necesario revisar las diferencias existentes entre especies y variedades cercanas para que los límites con las nuevas sean precisos.

La siguiente unidad taxonómica es el grupo. Esta categoría sistemática contiene una o varias especies, las cuales tienen una composición y estructura parecidas (por ejemplo, el grupo de El Cobre). Los grupos se unen en la categoría sistemática, que llamamos familia. Las familias minerales están difundidas ampliamente por todo el mundo mineral. Los representantes de cada familia se caracterizan por un aspecto exterior determinado. Sin embargo, todas las especies de una familia dada suelen ocupar localidades similares y paragénesis características y también se caracterizan por condiciones cercanas de formación. En calidad de familias típicas se pueden señalar: espinelas, piroxenos, anfíboles, micas, cloritas, feldespatos, zeolitas, etc.

Las familias y grupos se unen en las secciones, las cuales se caracterizan por las particularidades del radical complejo (por ejemplo, aluminosilicatos) o por el grado de complejidad de la composición (por ejemplo, óxidos complejos). Algunos científicos distinguen las subsecciones, familias o grupos, que están caracterizados por la existencia o la ausencia en las especies minerales de los aniones complementarios o de las moléculas de agua en las estructuras cristalinas. Las secciones y subsecciones se unen en las clases y subclases. La subclase es una

categoría sistemática que tiene una o varias secciones, se caracterizan por un mismo motivo estructural (tipo de enlace entre los átomos y radicales principales: coordinativo, de unidades estructurales separadas, de cadena, de capas, de armazones tridimensionales). La clase es la categoría sistemática que tiene una o varias subclases, las cuales se caracterizan por un mismo anión o radical principal que determina el tipo de compuesto químico. Esta categoría se divide en todos los sistemas mineralógicos, pero la cantidad de clases propuestas no es igual. De acuerdo con los conceptos modernos de la mineralogía, todas las especies minerales se pueden dividir en las siguientes clases (Tabla 2.2).

Las clases se unen en tipos. El tipo es la categoría sistemática, que contiene las clases con igual carácter de composición química y el mismo tipo de enlace químico (Tabla 2.2). Se destacan solamente 5 tipos (ultimamente también se propone distinguir sólo un tipo "Compuestos oxigenados", que se divide por dos subtipos - "Oxidos e Hidroxidos" y "Sales oxigenadas"):

1. Sustancias simples - elementos nativos (compuestos monoátomos y compuestos similares con enlace metálico, covalente, molecular).
2. Sulfuros y compuestos similares - calcogenuros - (principalmente el tipo de enlace es covalente).
3. Oxidos e hidróxidos (enlace iónico-covalente con el aumento del grado iónico).
4. Sales oxigenadas (compuestos con enlace covalente en los radicales y con iónico-covalente entre los radicales y cationes).
5. Halogenuros (fundamentalmente con enlace iónico).

Las categorías taxonómicas consideradas del mundo mineral son la base para la creación de diferentes sistemas de clasificación (Fig. 2.1). Pero hay que tener en cuenta que solamente algunas categorías (tipo, clase, subclase, sección, grupo) son comunes para todas las especies minerales, mientras que otras (subsección, serie, género, etcétera) son típicas solamente para

algunas especies. Desde nuestro punto de vista para los fines prácticos es suficiente utilizar de 6 a 7 categorías taxonómicas. Al mismo tiempo en la literatura científica y docente existen los sistemas mineralógicos, que incluyen hasta 14 - 16 categorías taxonómicas.

Como es sabido, al principio de nueva Era ya eran conocidos, habían sido descritos y recibido nombre cerca de 100 minerales, de las especies minerales aceptadas por la ciencia moderna. La siguiente propuesta mineralógica general fue realizada a finales del siglo XVIII por el científico ruso Vasily Severguin quien describió en su conocido trabajo “Primeros fundamentos de mineralogía” cerca de 150 formaciones minerales (Ostrooumov, 2001). A partir de este momento el descubrimiento de nuevos minerales se vuelve constante y su velocidad (del orden de 10 al año) adquiere un carácter estable y definido. Esta conclusión se basa en los materiales y datos concretos que se han ido acumulado en las fuentes mineralógicas más importantes del siglo pasado y del presente al respecto de las especies minerales descubiertas: 297 (Sokolov, 1832), 607 (Nauman, 1860), 820 (Dana, 1892), 884 (Lebedev, 1907), 1295 (Letchworht, 1939), 1291 (Betejtin, 1950).

La intensificación de este proceso se produjo en los siguientes 15 años cuando en promedio se descubrían cerca de 25 minerales al año, alcanzando hacia 1966 una cantidad de 1692 especies. Finalmente durante los últimos 25 años la cantidad de las especies minerales conocida se duplicó y en la actualidad su número alcanza alrededor de las 4000 especies, lo que corresponde al descubrimiento de cerca de 70 minerales al año. Este hecho está relacionado con la aparición de las técnicas analíticas contemporáneas que permitieron descubrir durante últimas décadas un gran número de nuevas especies minerales. Se sabe, que la mayoría de ellos se encuentra sólo en algunos partes de la corteza terrestre, donde estas especies están en forma de granos e inclusiones pequeñas con el tamaño de unos micrómetros.

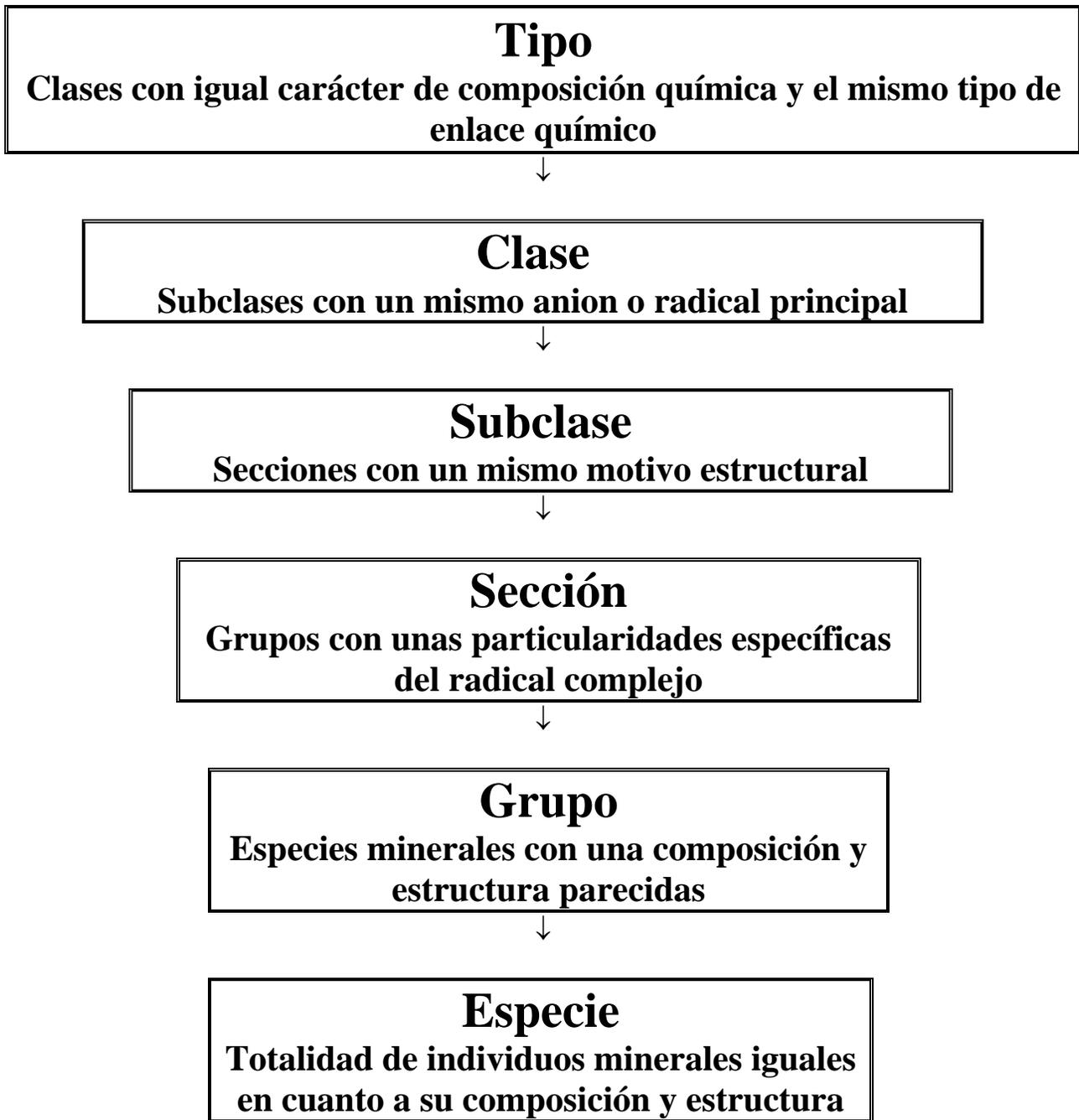


Figura 2.1. Categorías taxonómicas en la Mineralogía contemporánea.

De acuerdo con datos recientes (los cálculos correspondientes fueron realizados por el Dr. Ostrooumov en el año 2003), la composición cristaloquímica de la corteza terrestre es la siguiente (Tabla 2.2): por la cantidad de las especies minerales el primer lugar ocupan los Compuestos oxigenados (77.33%), luego están los Sulfuros y compuestos similares (15.99 %). En la cantidad muy subordinada están los Halogenuros (3.65 %) y Sustancias simples (2.93 %).

Entre estos predominan las siguientes clases cristaloquímicas: Silicatos (26.77), Fosfatos, Arseniados y Vanadatos (17.73%, con la predominación de los Fosfatos - 9.78 %), óxidos (8.87 %), sulfatos (7.14%). Sin embargo, si se consideran las características de concentración de las especies conocidas, podemos concluir que la corteza terrestre consiste en un 75% de silicatos y de 17% de óxidos e hidróxidos. Por lo tanto, la corteza terrestre por su composición es de óxido-sílice, pues el contenido de las demás especies minerales de otras clases cristaloquímicas en la litosfera es incomparable con la masa de los óxidos y silicatos.

En la Tabla 2.2 también se encuentra la comparación entre la estructura cristaloquímica de la corteza terrestre en una distancia de 10 años de las investigaciones mineralógicas recientes lo que permite hacer las conclusiones pertinentes sobre la evolución del reino mineral durante este último periodo de tiempo.

Tabla 2.2. Estructura cristaloquímica del mundo mineral al principio del siglo

Tipo	Clase	Cantidad total de las especies minerales		Cantidad relativa de las especies minerales	
		1993	2003	1993	2003
I. Sustancias simples		104	124	2.93	3.02
	Metales	24	25	0.67	0.61
	Metaloides	12	13	0.34	0.32
	Intermetalidos	50	56	1.41	1.36
	Carburos	8	8	0.22	0.20
	Nitruros	4	10	0.11	0.24
	Fosfuros	3	7	0.09	0.17
	Siliciuros	3	5	0.09	0.12
II. Calcogenuros (Sulfuros y compuestos similares)		588	656	16.53	15.99
	Sulfuros	204	232	6.52	5.65
	Sulfosales	193	248	5.42	6.05
	Arseniuros y antimoniuros	60	69	1.69	1.68
	Telururos	53	55	1.49	1.34
	Seleniuros	50	52	1.41	1.27
Compuestos oxigenados		2724	3172	76.60	77.33
	<u>Oxidos e hidroxidos</u>	506	562	14.33	13.70
	Oxidos	337	364	9.48	8.87
	Hidroxidos	169	198	4.75	4.83
	<u>Sales</u>	2218	2608	62.37	63.58
	Silicatos	907	1098	25.51	26.77
	Fosfatos,	362	401	10.12	9.78
	Arseniatos	216	246	6.07	6.00
	Vanadatos	72	80	2.02	1.95
	Sulfatos	254	293	7.14	7.14
	Carbonatos	166	201	4.67	4.90
	Boratos	127	135	3.57	3.29
	Teluratos y teluritos	38	53	1.07	1.29
	Molibdatos	15	26	0.42	0.63
	Wolframatos	14	14	0.39	0.34
	Selenatos	15	21	0.42	0.51
	Cromatos	12	12	0.34	0.29
	Nitratos	12	16	0.34	0.39
	Iodatos	6	11	0.17	0.27
	Otros	2	2	0.06	0.05
III. Halogenuros	Halogenuros	140	150	3.94	3.65
	Cloruros	85	87	2.39	2.12
	Fluoruros	47	52	1.32	1.27
	Yoduros	3	6	0.09	0.15
	Bromuros	5	7	0.14	0.17
	Total	3556	4102		