
EL MUSEO GEOMINERO

1. LA EXPOSICIÓN

Las exposiciones que se muestran en el Museo Geominero son las siguientes (ver esquema de su ubicación en las páginas 9 y 10):

MINERALES Y ROCAS

- Exposición de Sistemática Mineral
- Exposición de Recursos Minerales
- Exposición de Minerales de las Comunidades Autónomas
- Exposición de Rocas básicas

FÓSILES

- Exposición de Flora e Invertebrados Fósiles Españoles
- Exposición de Fósiles Extranjeros
- Exposición de Vertebrados Fósiles
- Exposición de Paleontología Sistemática

En la planta baja se exponen, además, cuatro vitrinas monográficas dedicadas a las propiedades físicas de los minerales, el ámbar, los sistemas cristalinos y las gemas y minerales ornamentales. En la primera planta se muestran algunos yacimientos paleontológicos singulares del territorio español, tanto de vertebrados como de icnofósiles y plantas.

A continuación se indica el nivel recomendado para cada exposición y su adecuación al diseño curricular. En las siguientes páginas se explicará de forma detallada la oferta expositiva del Museo Geominero con el fin de que cada docente adecúe esta información a los contenidos y al nivel que requieran los alumnos.

1.1 ADECUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA EDUCACIÓN PRIMARIA

Dentro del área de Conocimiento del Medio y teniendo en cuenta los contenidos relativos a la clasificación de los minerales y rocas más frecuentes y su relación con los materiales más usados, se recomienda trabajar con las exposiciones de Sistemática Mineral, Recursos Minerales y Rocas básicas.

1.2 ADECUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA (ESO)

El primer ciclo de la ESO, en su modalidad de Ciencias de la Naturaleza, aborda los siguientes contenidos que pueden ser asimilados a las siguientes exposiciones:

1º ESO (CIENCIAS DE LA NATURALEZA)	
CONTENIDOS	ORIENTACIÓN DIDÁCTICA
<ul style="list-style-type: none"> • La corteza terrestre - La corteza terrestre. Su superficie, composición química y elementos geoquímicos. - Silicio y aluminio: abundancia y propiedades. - Magnesio, hierro y calcio: abundancia y propiedades. - Concepto de mineral y roca. Los materiales artificiales. Importancia y abundancia relativa de los minerales. <ul style="list-style-type: none"> • Tipos de rocas. 	<p>Para estos contenidos están especialmente indicadas las exposiciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistemática Mineral - Recursos Minerales - Rocas básicas.

2º ESO (CIENCIAS DE LA NATURALEZA)	
CONTENIDOS	ORIENTACIÓN DIDÁCTICA
<ul style="list-style-type: none"> • Agentes geológicos externos - La formación de rocas sedimentarias. Carbón y petróleo. <ul style="list-style-type: none"> • La energía del planeta - La formación de rocas magmáticas y metamórficas. 	<p>Para estos contenidos está especialmente indicada la exposición de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rocas básicas.

El segundo ciclo de la ESO, en su modalidad de Biología y Geología, aborda los siguientes contenidos que pueden ser asimilados a las siguientes exposiciones:

3º ESO (BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA)	
CONTENIDOS	ORIENTACIÓN DIDÁCTICA
<ul style="list-style-type: none"> • La materia mineral - Características de la materia mineral, materia cristalina y materia amorfa. - Concepto de cristal. Cristalización. - Los minerales. Propiedades físico-químicas y clasificación. Sus aplicaciones e interés económico. <ul style="list-style-type: none"> • Las rocas - Clasificación genética de las rocas. El ciclo litológico. - Las rocas sedimentarias: su clasificación. - Las rocas metamórficas: su clasificación. - Las rocas magmáticas: su clasificación. - Aplicaciones de interés industrial y económico de los distintos tipos de rocas. 	<p>Para estos contenidos están especialmente indicadas las exposiciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistemática Mineral - Recursos Minerales - Minerales de las Comunidades Autónomas - Rocas básicas.

4º ESO (BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA)	
CONTENIDOS	ORIENTACIÓN DIDÁCTICA
<ul style="list-style-type: none"> • La historia de la Tierra - Origen de la Tierra. El tiempo geológico. - Historia geológica de la Tierra: las eras geológicas. - Los fósiles como indicadores. 	<p>Para estos contenidos están especialmente indicadas las exposiciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flora e Invertebrados Fósiles Españoles - Fósiles Extranjeros - Vertebrados Fósiles - Yacimientos Singulares - Paleontología Sistemática

Los contenidos del Bachillerato, dentro de la modalidad de Ciencias de la Naturaleza, pueden ser asimilados dentro de las siguientes exposiciones:

1º BACHILLERATO (BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA)	
CONTENIDOS	ORIENTACIÓN DIDÁCTICA
<ul style="list-style-type: none"> • Los procesos petrogenéticos. - Las rocas magmáticas. - Las rocas metamórficas. - Las rocas sedimentarias. 	<p>Para estos contenidos está especialmente indicada la exposición de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rocas básicas.

2º BACHILLERATO (CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE)	
CONTENIDOS	ORIENTACIÓN DIDÁCTICA
<ul style="list-style-type: none"> • Los sistemas internos de la Tierra - Procesos petrogenéticos y formación de yacimientos. Recursos minerales y energéticos asociados. • La dinámica de los sistemas fluidos externos - Procesos petrogenéticos y formación de yacimientos de origen externo. - Recursos minerales. 	<p>Para estos contenidos están especialmente indicadas las exposiciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recursos Minerales - Rocas básicas.

2. RELACIÓN DE VITRINAS DE LA EXPOSICIÓN

2.1 PLANTA BAJA

EXPOSICIÓN DE SISTEMÁTICA MINERAL			
Vitrina 1	Elementos nativos	Vitrina 12	Fosfatos, arseniados y vanadatos
Vitrina 2	Sulfuros	Vitrina 13	Fosfatos, arseniados y vanadatos
Vitrina 3	Sulfuros	Vitrina 14	Silicatos (nesosilicatos y sorosilicatos)
Vitrina 4	Sulfuros	Vitrina 15	Silicatos (sorosilicatos y ciclosilicatos)
Vitrina 5	Sales haloideas	Vitrina 16	Silicatos (inosilicatos)
Vitrina 6	Óxidos	Vitrina 17	Silicatos (filosilicatos)
Vitrina 7	Óxidos	Vitrina 18	Silicatos (tectosilicatos)
Vitrina 8	Carbonatos, boratos y nitratos	Vitrina 19	Silicatos (tectosilicatos)
Vitrina 9	Carbonatos, boratos y nitratos	Vitrina 20	Compuestos orgánicos
Vitrina 10	Sulfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos	Vitrina 21	Minerales radiactivos (uranio y thorio)
Vitrina 11	Sulfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos		

EXPOSICIÓN DE RECURSOS MINERALES			
Vitrina 22	Recursos energéticos	Vitrina 26	Menas metálicas de Cu, Bi, Zn y Pb.
Vitrina 23	Minerales y rocas industriales	Vitrina 27	Menas metálicas de Mn, Ti, Cr y Mo.
Vitrina 24	Menas metálicas de Au, Sb, Ag y Hg.	Vitrina 28	Menas metálicas de Fe y Al.
Vitrina 25	Menas metálicas de Co, Sn, Ni y W.		

EXPOSICIÓN DE FLORA E INVERTEBRADOS FÓSILES ESPAÑOLES			
Vitrina 29	Cámbrico. Braquiópodos, arqueociatos, icnofósiles, montículo microbiano.	Vitrina 51	Cretácico Inferior. Braquiópodos, plantas, corales, crustáceos, insectos, esponjas, foraminíferos.
Vitrina 30	Cámbrico. Trilobites.	Vitrina 52	Cretácico Inferior. Gasterópodos.
Vitrina 31	Ordovícico. Icnofósiles, equinodermos.	Vitrina 53	Cretácico Inferior. Bivalvos.
Vitrina 32	Ordovícico. Gasterópodos, graptolitos, braquiópodos, bivalvos, cefalópodos.	Vitrina 54	Cretácico Inferior. Ammonoideos.
Vitrina 33	Ordovícico. Trilobites.	Vitrina 55	Cretácico Inferior. Ammonoideos.
Vitrina 34	Silúrico. Graptolitos, corales, bivalvos, escafópodos, braquiópodos.	Vitrina 56	Cretácico Inferior. Equinodermos, cefalópodos, crustáceos, nautiloideos, serpúlidos.
Vitrina 35	Devónico. Corales.	Vitrina 57	Cretácico Superior. Corales, foraminíferos.
Vitrina 36	Devónico. Trilobites, equinodermos, bivalvos.	Vitrina 58	Cretácico Superior. Gasterópodos, braquiópodos.
Vitrina 37	Devónico. Braquiópodos.	Vitrina 59	Cretácico Superior. Ammonoideos.
Vitrina 38	Carbonífero. Plantas.	Vitrina 60	Cretácico Superior. Bivalvos.
Vitrina 39	Carbonífero. Plantas.	Vitrina 61	Cretácico Superior. Bivalvos, equinodermos.
Vitrina 40	Carbonífero. Plantas.	Vitrina 62	Eoceno (Paleógeno). Foraminíferos, icnofósiles.
Vitrina 41	Carbonífero. Braquiópodos, equinodermos, briozoos, corales.	Vitrina 63	Eoceno (Paleógeno). Corales, esponjas.

Vitrina 42	Carbonífero. Bivalvos, gasterópodos, trilobites, cefalópodos.	Vitrina 64	Eoceno (Paleógeno). Bivalvos, gasterópodos.
Vitrina 43	Triásico. Bivalvos, icnofósiles, plantas, ammonoideos.	Vitrina 65	Eoceno (Paleógeno). Equinodermos, bivalvos, crustáceos.
Vitrina 44	Jurásico Inferior. Braquiópodos.	Vitrina 66	Oligoceno (Paleógeno). Gasterópodos, foraminíferos, plantas, bivalvos.
Vitrina 45	Jurásico Inferior. Cefalópodos, bivalvos, gasterópodos.	Vitrina 67	Mioceno (Neógeno). Plantas.
Vitrina 46	Jurásico Inferior. Ammonoideos.	Vitrina 68	Mioceno (Neógeno). Bivalvos, corales, braquiópodos, gasterópodos, escafópodos.
Vitrina 47	Jurásico Medio. Braquiópodos, esponjas, bivalvos, equinodermos.	Vitrina 69	Mioceno (Neógeno). Gasterópodos, bivalvos.
Vitrina 48	Jurásico Medio. Ammonoideos.	Vitrina 70	Mioceno (Neógeno). <i>Gomphoterium angustidens</i> . Mastodonte. Madrid.
Vitrina 49	Jurásico Superior. Bivalvos, braquiópodos, corales, equinodermos, esponjas, ammonoideos.	Vitrina 71	Plioceno (Neógeno). Gasterópodos, braquiópodos, escafópodos, corales.
Vitrina 50	Jurásico Superior. Ammonoideos.	Vitrina 72	Plioceno (Neógeno). Bivalvos, serpúlidos.

MUESTRAS ESPECIALES

Vitrina 73	Muestran minerales y fósiles espectaculares ya sea por su tamaño, rareza, conservación excepcional, etcétera
Vitrina 74	
Vitrina 75	

VITRINAS TEMÁTICAS

Vitrina 79	Rocas ornamentales y gemas.	Vitrina 81	Propiedades físicas de los minerales.
Vitrina 80	El ámbar.	Vitrina 82	Sistemas cristalográficos.

2.2 PASILLOS DE ACCESO

EXPOSICIÓN DE FÓSILES EXTRANJEROS			
Vitrina 213	Cámbrico. Trilobites, braquiópodos, icnofósiles, Problematica.	Vitrina 247	Jurásico. Corales, crustáceos, anélidos, equinodermos, peces.
Vitrina 214	Ordovícico. Graptolitos, briozoos, cefalópodos.	Vitrina 248	Jurásico. Cefalópodos, braquiópodos, icnofósiles.
Vitrina 215	Silúrico. Corales, trilobites, graptolitos, briozoos.	Vitrina 249	Jurásico. Bivalvos, gasterópodos.
Vitrina 216	Silúrico. Bivalvos, gasterópodos, cefalópodos, esponjas, braquiópodos, equinodermos.	Vitrina 250	Cretácico. Vertebrados, foraminíferos, anélidos, crustáceos, peces.
Vitrina 217	Devónico. Braquiópodos.	Vitrina 251	Cretácico. Corales.
Vitrina 218	Devónico. Corales, esponjas, plantas.	Vitrina 252	Cretácico. Gasterópodos, equinodermos, braquiópodos.
Vitrina 219	Devónico. Equinodermos, cefalópodos.	Vitrina 253	Cretácico. Bivalvos, gasterópodos
Vitrina 220	Devónico. Trilobites.	Vitrina 254	Paleógeno. Foraminíferos, bivalvos, peces, corales, equinodermos
Vitrina 221	Carbonífero. Corales, briozoos, plantas.	Vitrina 255	Paleógeno. Bivalvos, peces, gasterópodos, equinodermos
Vitrina 222	Carbonífero., Bivalvos, poliplacóforos, peces, gasterópodos, cefalópodos, braquiópodos, equinodermos.	Vitrina 256	Neógeno. Gasterópodos.
Vitrina 223	Pérmico. Gasterópodos, cefalópodos, braquiópodos, equinodermos, bivalvos, briozoos, plantas, peces.	Vitrina 257	Cuaternario. Bivalvos, gasterópodos, mamíferos.
Vitrina 246	Triásico. Bivalvos, vertebrados, plantas, gasterópodos, cefalópodos, braquiópodos, equinodermos.		

EXPOSICIÓN DE PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA			
Vitrina 224	Introducción I. ¿Qué es un fósil? Filogenia de los seres vivos. Unidades cronoestratigráficas.	Vitrina 235	Moluscos: cefalópodos (ortocerátidos y endocerátidos).
Vitrina 225	Introducción II. ¿Para qué se estudian los fósiles? Legislación sobre el Patrimonio Natural y Paleontológico.	Vitrina 236	Moluscos: cefalópodos (nautiloideos y coleoideos).
Vitrina 226	Poríferos: arqueociatos y esponjas.	Vitrina 237	Moluscos: cefalópodos (ammonoideos).
Vitrina 227	Cnidarios.	Vitrina 238	Moluscos: cefalópodos (ammonoideos).
Vitrina 228	Artrópodos: crustáceos y hexápodos.	Vitrina 239	Hyalolithes y Briozoos.
Vitrina 229	Artrópodos: trilobites.	Vitrina 240	Moluscos: gasterópodos.
Vitrina 230	Artrópodos: quelicerados.	Vitrina 241	Braquiópodos.
Vitrina 231	Moluscos: Introducción.	Vitrina 242	Equinodermos: equinozoos, asterozoos y homalozoos.
Vitrina 232	Moluscos: poliplacóforos, rostroconchas y escafópodos.	Vitrina 243	Equinodermos: blastozoos y crinozoos.
Vitrina 233	Moluscos: bivalvos I.	Vitrina 244	Hemicordados: graptolitos.
Vitrina 234	Moluscos: bivalvos II.	Vitrina 245	Fosilización

2.3 PLANTA PRIMERA

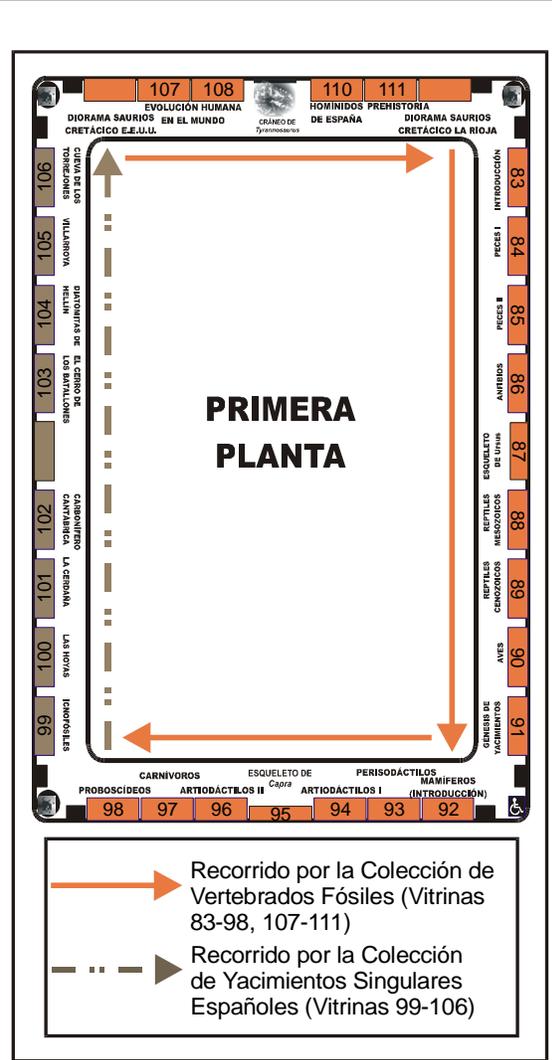
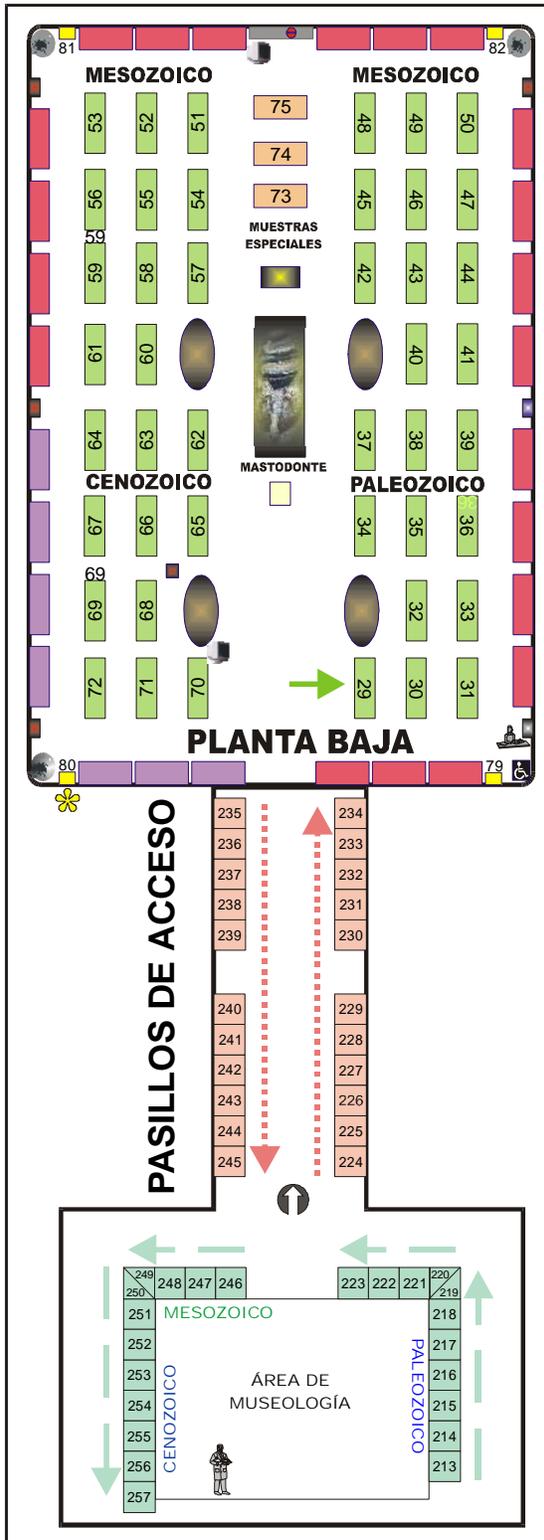
EXPOSICIÓN DE VERTEBRADOS FÓSILES			
Vitrina 83	Vertebrados: Introducción. Relaciones filogenéticas. Evolución y clasificación.	Vitrina 93	Mamíferos: perisodáctilos (équidos y rinocerótidos)
Vitrina 84	Peces I. Peces paleozoicos, tiburones y rayas.	Vitrina 94	Mamíferos: artiodáctilos (cérvidos y bóvidos).
Vitrina 85	Peces II. Peces óseos (holósteos y teleósteos).	Vitrina 95	Esqueleto completo de <i>Capra ibex</i> variedad <i>matritensis</i> . Pleistoceno Superior. Cueva del Reguerillo (Patones, Madrid).
Vitrina 86	Anfibios. Ranas, salamandras y <i>Seymouria</i> .	Vitrina 96	Mamíferos: artiodáctilos (giráfidos, súidos e hipopotámidos).
Vitrina 87	Esqueleto de <i>Ursus spelaeus</i> .	Vitrina 97	Mamíferos: carnívoros (úrsidos, félidos, hiénidos, cánidos y mustélidos).
Vitrina 88	Reptiles I. Ictiosaurio, pterosaurio, dinosaurio.	Vitrina 98	Mamíferos: proboscídeos.
Vitrina 89	Aves. <i>Archaeopteryx</i> , <i>Iberomesornis</i> .	Vitrina 107	Evolución humana I. Primates y homínidos.
Vitrina 90	Reptiles II. Tortugas, cocodrilos y lagartos.	Vitrina 108	Evolución humana II. Evolución humana en Europa.
Vitrina 91	Tipos de yacimientos de vertebrados y su génesis.	Vitrina 110	Evolución humana en España.
Vitrina 92	Mamíferos: Introducción.	Vitrina 111	Prehistoria.

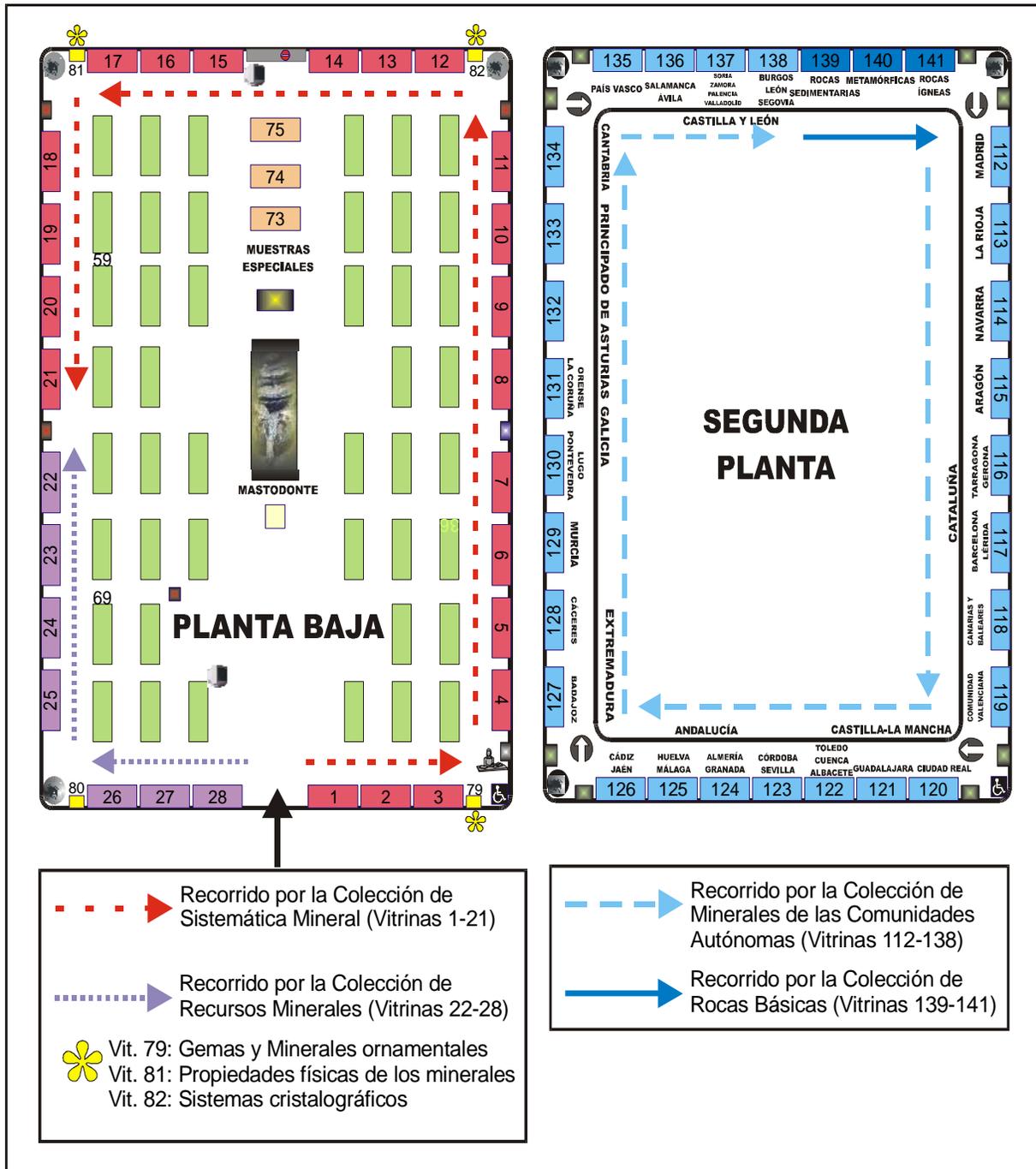
YACIMIENTOS SINGULARES			
Vitrina 99	Paleoicnología: huellas fósiles.	Vitrina 103	Cerro de los Batallones (Madrid). Reproducción del suelo de la excavación y restos de tigres dientes de sable del Mioceno.
Vitrina 100	Las Hoyas (Cuenca). Aves, dinosaurios, peces, plantas y crustáceos del Cretácico Inferior.	Vitrina 104	Hellín (Albacete). Diatomitas y pisciformes del Mioceno.
Vitrina 101	La Cerdaña (Lleida). Insectos y restos vegetales del Mioceno.	Vitrina 105	Villarroya (La Rioja). Équidos, rinocerótidos, hiénidos, roedores, bóvidos, félidos y proboscídeos del Plioceno.
Vitrina 102	Cuenca Cantábrica. Restos vegetales del Carbonífero.	Vitrina 106	Cueva de los Torrejones (Guadalajara). Fósiles de homínidos primitivos y de otros mamíferos del Pleistoceno.

2.4 PLANTA SEGUNDA

EXPOSICIÓN DE MINERALES DE LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS			
Vitrina 112	Madrid.	Vitrina 126	Andalucía: Cádiz y Jaén.
Vitrina 113	La Rioja.	Vitrina 127	Extremadura: Badajoz.
Vitrina 114	Navarra.	Vitrina 128	Extremadura: Cáceres.
Vitrina 115	Aragón.	Vitrina 129	Murcia.
Vitrina 116	Cataluña: Tarragona y Girona.	Vitrina 130	Galicia: A Coruña y Lugo.
Vitrina 117	Cataluña: Barcelona y Lleida.	Vitrina 131	Galicia: Ourense y Pontevedra.
Vitrina 118	Canarias y Baleares.	Vitrina 132	Principado de Asturias.
Vitrina 119	Comunidad Valenciana.	Vitrina 133	Principado de Asturias.
Vitrina 120	Castilla-La Mancha: Ciudad Real.	Vitrina 134	Cantabria.
Vitrina 121	Castilla-La Mancha: Guadalajara.	Vitrina 135	País Vasco.
Vitrina 122	Castilla-La Mancha: Toledo, Cuenca y Albacete.	Vitrina 136	Castilla-León. Salamanca y Ávila.
Vitrina 123	Andalucía: Córdoba y Sevilla.	Vitrina 137	Castilla-León: Soria, Zamora, Valladolid y Palencia.
Vitrina 124	Andalucía: Almería y Granada.	Vitrina 138	Castilla-León: Burgos, León y Segovia.
Vitrina 125	Andalucía: Huelva y Málaga.		

EXPOSICIÓN DE ROCAS BÁSICAS	
Vitrina 139	Rocas sedimentarias.
Vitrina 140	Rocas metamórficas.
Vitrina 141	Rocas ígneas.





3. ORIENTACIONES PARA LOS PROFESORES: MINERALES Y ROCAS

3.1 EXPOSICIÓN DE SISTEMÁTICA MINERAL (Vitrinas 1-21)

La clasificación mineral se basa en la composición química y en la estructura interna, ya que ambas características determinan la esencia de un mineral y sus propiedades físicas. Actualmente se conocen unas 3.800 especies minerales, así como numerosas variedades de éstas. Cada año se incorporan varias decenas de nuevos minerales. La exposición de Sistemática Mineral se sitúa en la planta baja del Museo y está constituida por más de 2.000 minerales españoles y extranjeros ordenados según sus afinidades químicas.

CLASE I: ELEMENTOS NATIVOS (Vitrina 1). Se trata de sustancias formadas por una sola especie de átomos (elementos químicos) que se encuentran en la naturaleza en estado nativo. Forman un grupo poco numeroso de minerales que deben su carácter inerte a la dificultad para unirse con otros, o bien a la acción favorable de ambientes reductores que impiden la tendencia de algunos metales y metaloides a combinarse. El hecho de que no formen un grupo homogéneo respecto al tipo de enlace empleado hace que las propiedades de estos minerales sean muy diferentes: algunos son muy blandos, como el azufre y el grafito, mientras que el diamante, también incluido en este grupo, presenta el mayor valor de dureza de la escala de Mohs; la mayoría son sólidos (oro, plata), mientras que el mercurio es líquido.

En esta vitrina podemos destacar las pepitas de oro de Salvatierra (León) y del río Sil, los meteoritos de Fe-Ni americanos y españoles, el azufre cristalizado de Conil (Cádiz) y el cobre cristalizado dendrítico de Linares (Jaén).

CLASE II: SULFUROS Y SULFOSALES (Vitrinas 2-4). En este grupo se incluyen las combinaciones del azufre (y también, aunque menos frecuentemente, arsénico, antimonio, bismuto, selenio y telurio) con metales o semimetales. Así pues, esta clase de minerales comprende sulfuros, arseniuros, antimoniuros, bismuturos, seleniuros y telururos, además de las sulfosales. En el modo de enlace de sus átomos estos minerales muestran una amplia variedad, presentando enlaces iónicos, covalentes y metálicos. En cuanto a sus propiedades físicas, la mayoría poseen aspecto y brillo metálico, peso específico elevado y dureza variable; muchos son opacos y los que son traslúcidos suelen tener un elevado índice de refracción; son, por lo general, buenos conductores del calor y de la electricidad. Son minerales económicamente importantes porque son menas de muchos elementos metálicos.

Las sulfosales son sulfuros “dobles” o “complejos” en los que están presentes arsénico, antimonio y bismuto, jugando un papel más o menos semejante al de los metales; lo contrario ocurre con los arseniuros, antimoniuros y bismuturos, en los que estos elementos ocupan el lugar del azufre. Prácticamente todas las sulfosales tienen como cationes Cu, Ag y Pb. En comparación con los otros sulfuros, estos minerales se caracterizan por su menor dureza, su mayor solubilidad en ácidos, su inferior poder de reflexión y su fórmula química más compleja.

En la vitrina 2 destaca el conjunto de esfaleritas acarameladas de Áliva (Cantabria), el cristal de calcopirita de A Coruña, los cristales de galena de Missouri (EE.UU.), los cristales de pirrotina de Méjico y los cristales de tetraedrita de Perú. La vitrina 3 cuenta con un conjunto de cristales de cinabrio de Almadén (Ciudad Real), piritas de Navajún (La Rioja), cristales de galena de Linares (Jaén) y quiroguita de Sierra Almagrera (Almería).

En la vitrina 4 podemos destacar las marcasitas de Linares (Jaén) y de Reocín (Cantabria), las sulfosales de plata (pirargirita, proustita, freieslebenita, etc.) de Hiendelaencina (Guadalajara), la bournonita de Quiruvilca (Perú) y la boulangerita de Zacatecas (Méjico).

CLASE III: HALOGENUROS (Vitrina 5). Los halogenuros son compuestos formados por la unión de los halógenos (flúor, cloro, bromo y yodo) con metales. Se caracterizan por no tener aspecto metálico, su escasa dureza y la solubilidad en el agua de muchos de ellos. La mayor parte de estos minerales son incoloros y cuando presentan algún color es debido, generalmente, a causas accidentales o a impurezas, exceptuando aquellos que contienen algún catión coloreado, como el cobre, por ejemplo. Los cloruros y fluoruros están representados en la naturaleza por numerosas especies minerales, a diferencia de los bromuros y yoduros, que son raros.

Los fluoruros suelen ser minerales de origen ígneo; sólo ocasionalmente aparecen como minerales secundarios o bien como productos de evaporación de lagos salados. Los cloruros, más numerosos que los fluoruros, aparecen principalmente como productos de evaporación de algunos mares o lagos salados, siendo muy raros en rocas ígneas o metamórficas. También existen cloruros, bromuros y yoduros en la zona oxidada de muchos yacimientos minerales, especialmente en las zonas áridas de la Tierra.

Son destacables en esta vitrina las fluoritas de Huanzalá (Perú), Reino Unido y Nuevo Méjico.

CLASE IV: ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS (Vitrinas 6-7). Los óxidos comprenden aquellos compuestos en los que los átomos o los cationes de uno o más metales están combinados con el oxígeno. Son relativamente duros, densos y refractarios y, generalmente, se presentan de forma accesoria en rocas ígneas y metamórficas y como granos detríticos en los sedimentos. Son de gran importancia económica, ya que algunos minerales son menas principales de hierro, manganeso, estaño, cromo, uranio, etc. Los hidróxidos se caracterizan por contener grupos hidroxilos o moléculas de agua. Tienden a ser menos duros y de menor densidad que los óxidos y aparecen como alteración secundaria o como productos de la meteorización.

En la vitrina 6 podemos destacar el octaedro de magnetita de San Pablo de los Montes (Toledo), la espinela noble sobre mármol de Birmania, los cristales de cuprita de la República Democrática del Congo y las maclas cíclicas de crisoberilo de Colatina (Brasil). De la vitrina 7 son remarcables los cristales de ferrocolumbita de Goias (Brasil), los cristales de rutilo de Estados Unidos, el conjunto de casiteritas del NW peninsular y los cristales de magnetita de Nordheusen Südherz (Alemania).

CLASE V: NITRATOS, CARBONATOS Y BORATOS (Vitrinas 8-9). Los nitratos forman un reducido grupo de minerales que se caracterizan por poseer un grupo aniónico monovalente en el que el átomo de nitrógeno está rodeado por tres oxígenos dispuestos en los vértices de un triángulo equilátero. En general, se trata de minerales claros y blandos que se presentan en masas cristalinas o en eflorescencias. Debido a su gran solubilidad suelen encontrarse en zonas áridas de la corteza terrestre.

Los boratos constituyen un grupo poco numeroso de minerales que son muy diferentes en relación al color y al aspecto. Los carbonatos son minerales con poca dureza, densidad variable y colores muy diversos. En ambiente acuoso ácido se disuelven con facilidad. Entran en la composición química de numerosas rocas siendo el componente esencial de

calizas (calcita), dolomías (dolomita) y mármoles cristalinos. Tienen gran aplicación industrial, siendo muchos minerales carbonatados menas de numerosos metales.

En la vitrina 8 podemos observar la calcita pseudo-hexagonal de Dalnegoriks (Rusia), la calcita Cumberland de Illinois (EE.UU.), los cristales escalenoédricos de calcita de Peñamellera (Asturias), la manganocalcita de Mina Pachapaque (Perú) y los cristales de dolomita de Eugui (Navarra). La vitrina 9 está caracterizada por la cerusita de Tsumed (Namibia), la azurita de Ribas de Freser (Girona), los aragonitos de Minglanilla (Cuenca) y el aragonito coraloide de la Florida (Cantabria).

CLASE VI: SULFATOS, CROMATOS, MOLIBDATOS Y WOLFRAMATOS (Vitrinas 10-11). Los sulfatos son minerales muy abundantes en la naturaleza. Su estructura está constituida por un tetraedro de azufre y oxígeno; en los cromatos, molibdatos y wolframatos el azufre se sustituye por cromo, molibdeno y wolframio, respectivamente.

Los sulfatos naturales son con frecuencia incoloros o coloreados accidentalmente, con baja densidad y poca dureza. Por lo general son solubles en agua, con excepción de los alcalinotérreos. Algunos sulfatos son primarios y se encuentran en venas hidrotermales o como producto de la actividad volcánica. Otros se formaron en cuencas sedimentarias, en el seno de aguas saladas marinas o lacustres. Los de origen secundario proceden de la oxidación de sulfuros metálicos en las monteras de los yacimientos. Los minerales de este grupo no están representados entre los componentes de las rocas, a excepción del yeso y la anhidrita, que en ocasiones forman bancos de gran potencia que son considerados como rocas monominerales.

En la vitrina 10 podemos destacar la celestina de Madagascar, la linarita de Nuevo Méjico (EE.UU.), la barita de La Unión (Murcia) y la barita con cinabrio de Almadén (Ciudad Real). La vitrina 11 está representada por las crocoitas de Tasmania (Australia), la scheelita de Estepona (Málaga), la wulfenita de Chihuahua (Méjico), el yeso de Fuentes de Ebro (Zaragoza) y la wolframita de Panasqueira (Portugal).

CLASE VII: FOSFATOS, ARSENIATOS y VANADATOS (Vitrinas 12 y 13). El fósforo no se encuentra en estado libre en la naturaleza debido a su gran afinidad por el oxígeno, con el que forma un gran número de compuestos, como los fosfatos. Si en lugar de fósforo hay arsénico o vanadio tendremos los arseniatos y los vanadatos.

En la corteza terrestre el fósforo primario se encuentra sobre todo en forma de apatito en muchas rocas ígneas (como mineral accesorio), en filones pegmatíticos y secundariamente en la montera de yacimientos metálicos como producto de oxidación de minerales primarios. Además, la acumulación de los restos y los excrementos de los seres vivos da lugar a importantes yacimientos de fosfatos.

Esta clase mineralógica está integrada en su mayor parte por fosfatos, aunque muchos de ellos son raros. El apatito representa el 95% de todo el fósforo existente en la corteza terrestre. Los fosfatos son muy poco solubles y tienen, además, la propiedad de volver a ser precipitados en cuanto sus soluciones se ponen en contacto con carbonatos de calcio u otros metales pesados.

En la vitrina 12 destaca la adamita el apatito variedad esparraguina de Durango (Méjico), la brasilianita de Minas Gerais (Brasil) y la lazulita de Yukón (Canadá). En la vitrina 13 podemos resaltar la vivianita de Morococala (Bolivia), las piromorfitas alemanas y de Ussel (Francia), la vanadinita de Mibladen (Marruecos) y la eritrina de Bou Azzer (Marruecos).

CLASE VIII: SILICATOS (NESO Y SOROSILICATOS) (Vitrina 14). Es la clase más importantes, ya que comprende casi un tercio de los minerales conocidos. El predominio de estos minerales, en especial de los aluminosilicatos, es un reflejo de la abundancia en la corteza terrestre de oxígeno, aluminio y silicio.

La unidad fundamental, base de la estructura de todos los silicatos, consta de cuatro iones de oxígeno en los vértices de un tetraedro regular rodeando al ion silicio. Los distintos tipos de silicatos dependen de los modos de unirse unos tetraedros con otros. Los nesosilicatos (*nesos*=isla) deben su nombre a que sus grupos tetraédricos SiO_4 son independientes. Como presentan un empaquetamiento atómico denso, poseen valores relativamente altos de peso específico y dureza. Dentro de esta clase destacan los minerales del grupo de los granates (como la grossularia variedad hessonita) y los olivinos de Pakistán.

Los sorosilicatos (*soros*=grupo) están constituidos por grupos tetraédricos dobles e independientes formados por dos tetraedros de SiO_4 que comparten un oxígeno. No se conocen muchos minerales de esta subclase. En la vitrina 14 podemos ver los más importantes, como los del grupo de la epidota (ver el ejemplar de Bragot, Pakistán), así como la hemimorfita y la idocrasa o vesuvianita.

CLASE VIII: SILICATOS (CICLOSILICATOS) (Vitrina 15). Su nombre procede del griego *ciclos*=anillo. Están formados por anillos de tetraedros SiO_4 enlazados, con un número mínimo de tres grupos por anillo. No se conocen ciclosilicatos con anillos de cinco tetraedros. La mayoría de los minerales que pertenecen a esta subclase cristalizan en los sistemas hexagonal y trigonal y se caracterizan por su gran dureza. En esta vitrina podemos destacar la elbaita (variedad rubelita) del Alto Ligonha (Mozambique), la elbaita (variedad verdelita) de las Minas Gerais (Brasil), las esmeraldas y aguamarinas de Brasil, la aguamarina de Pereña (Salamanca) y el heliodoro de Tajikistán.

CLASE VIII: SILICATOS (INOSILICATOS) (Vitrina 16). El nombre de este grupo procede del griego *inos*=fibra, hilo o cadena. En esta subclase, los tetraedros SiO_4 se enlazan originando cadenas de longitud indefinida. Existen dos tipos principales de estructura catenaria: las cadenas sencillas, en las cuales los tetraedros de silicio se unen compartiendo un oxígeno, y las cadenas dobles, formadas por el agrupamiento de dos cadenas sencillas paralelas. Cada tipo está representado por un grupo de minerales: los piroxenos, con estructura simple, y los anfíboles, que la presentan doble.

El hábito cristalino y la exfoliación son los caracteres distintivos más sencillos para distinguir un piroxeno de un anfíbol. Los piroxenos se presentan en prismas gruesos y cortos, mientras que en los anfíboles es característico el alargamiento de sus cristales según el eje cristalográfico vertical. En los piroxenos las dos direcciones de exfoliación se cortan según ángulos próximos a 90° , mientras que en los anfíboles lo hacen a 60° aproximadamente. Los piroxenos son minerales de alta temperatura, característicos de rocas ígneas básicas y ultrabásicas, así como de rocas metamórficas de alto grado; los anfíboles son minerales de menor temperatura y son propios de rocas ígneas de carácter intermedio y de rocas metamórficas de grado medio. Los piroxenos son más abundantes en la naturaleza que los anfíboles. En esta vitrina destacan la neptunita de San Benito (California), la rodonita de Huallanca (Perú), la espodumena (variedad kuncita) de Gilgit (Pakistán) y la pectolita (Iarimar) de la República Dominicana.

CLASE VIII: SILICATOS (FILOSILICATOS) (Vitrina 17). Su nombre procede del griego *filos*=hoja o lámina. Estos silicatos están formados por tetraedros SiO_4 que se enlazan compartiendo tres de sus cuatro oxígenos. El resultado son capas formadas por redes

pseudohexagonales. Debido a esta peculiar estructura, todos los filosilicatos presentan un hábito laminar pseudohexagonal y una perfecta exfoliación basal muy evidente en el grupo de las micas. Son, por lo general, blandos, de peso específico relativamente bajo y poseen una notable birrefracción.

La mayoría de los filosilicatos se han formado a temperatura ordinaria durante los procesos sedimentarios, aunque algunos son estables a temperaturas muy elevadas. Muchos de estos minerales son formadores de rocas. Los más importantes desde el punto de vista industrial y petrográfico son, además del grupo de las micas, el talco, las cloritas, el amianto y los minerales de la arcilla. En esta vitrina destacan la apofilita verde, la girolita y la cavansita de Poona (India), la moscovita y Zinwaldita de Minas Gerais (Brasil), la prehnita de La Cabrera (Madrid) y la crisocola de Shaba (R.D. del Congo).

CLASE VIII: SILICATOS (TECTOSILICATOS) (Vitrinas 18 y 19). El nombre de esta subclase procede del griego *tectos*=armazón. Los tetraedros de silicio se enlazan formando un armazón tridimensional, de modo que cada tetraedro comparte los cuatro oxígenos con los de alrededor, quedando saturadas todas las valencias del grupo. Exceptuando el cuarzo y sus polimorfos, que presentan el radical eléctricamente neutro SiO₂, todos los demás minerales son aluminosilicatos de Na, K, Ca y Ba.

Todos los minerales que constituyen esta subclase poseen numerosas similitudes en cuanto a su composición y propiedades. Son incoloros, blancos o gris claro si están libres de impurezas. Sus densidades son más bien bajas. La dureza es uniforme variando entre 4 y 6. Esta subclase incluye grupos de minerales de gran importancia petrográfica como son los feldespatos y los feldespatoides, componentes esenciales de muchas rocas. Los tectosilicatos constituyen las tres cuartas partes de los minerales de la corteza terrestre. En la vitrina 18 podemos destacar la escolecita de Poona (India), la laumontita de Valdemanco (Madrid), la albita (variedad cleavelandita) de Minas Gerais (Brasil) y la microclina (variedad amazonita) de Peakes Peak (EE.UU).

En la vitrina 19 podemos ver tectosilicatos del grupo de la sílice, entre los que destaca por su abundancia el cuarzo. Las variedades más comunes de este mineral son:

Variedades cristalinas

- Cristal de roca o hialino. Transparente e incoloro.
- Amatista. Diversas tonalidades de púrpura o violeta.
- Citrino. Amarillo pálido.
- Cuarzo ahumado. Pardo gris a casi negro.
- Cuarzo rosa. Rosa pálido, translúcido. Raro en cristales.
- Cuarzo lechoso. Blanco de leche y casi opaco. Brillo ligeramente graso.
- Cuarzo azul. De azul pálido a azul lavanda. Translúcido.
- Cuarzo hematideo. De marrón a rojizo, con inclusiones de óxidos e hidróxidos de hierro. También se denomina Jacinto de Compostela.

Variedades cristalinas con inclusiones

- Cuarzo rutilado. Contiene cristales aciculares de rutilo.
- Aventurina. Con escamas brillantes debido a inclusiones de minerales micáceos.
- Ojo de tigre. Amarillo, pardo o azul.
- Ojo de gato.

Entre las variedades criptocristalinas destacan: calcedonia, ágata, ónice, cornalina, heliotropo o piedra de sangre, sílex o pedernal y jaspe.

De entre las piezas expuestas en la vitrina 19 conviene destacar el ópalo de fuego de Querétaro (Méjico), el ópalo noble de Queensland (Australia), la colección de ágatas, el cuarzo rosa cristalizado de Minas Gerais (Brasil), la amatista de Veracruz (Méjico) y el cristal de roca de Pastobueno (Perú).

3.2 EXPOSICIÓN DE RECURSOS MINERALES (Vitrinas 22-28)

Esta exposición está constituida por sustancias con interés minero. Debe empezarse por la vitrina 28 y terminar en la vitrina 22. Consta de siete vitrinas de la planta principal en las que se muestran aquellas sustancias que se utilizan para la obtención de los minerales más comunes (menas metálicas). En la vitrina 23 se exponen los principales minerales industriales y sus usos más frecuentes. La última vitrina (22) está dedicada a los principales recursos energéticos: carbón, petróleo y uranio.

La vitrina **28** corresponde a generalidades acerca de los recursos minerales y a las menas de **hierro** y **aluminio**. Los recursos minreales son todas aquellas sustancias no vivas de origen natural y de utilidad para el hombre, ya sean de origen orgánico o inorgánico. En esta definición se incluyen todos los sólidos cristalinos, los combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural y también las aguas de la tierra y los gases de la atmósfera. Las menas minerales son los minerales que pueden utilizarse para obtener uno o más metales, siendo económicamente rentable su explotación. En su mayoría son minerales metálicos. Los minerales de ganga son aquellos minerales, metálicos o no, que están asociados a las menas minerales y cuya explotación no es rentable. La diferencia entre ambos conceptos es puramente económica, de manera que si cambian las condiciones de mercado o las técnicas de extracción, un mineral considerado como ganga puede pasar a ser mena y viceversa.

En relación al hierro y al aluminio, el Fe es el segundo metal más abundante en la corteza terrestre. Representa más del 95% de todos los metales conocidos. Se encuentra representado en una amplia gama de minerales, aunque sólo cuatro son importantes desde el punto de vista económico: hematites, magnetita, goethita y siderita. El Al es el metal más abundante de la corteza terrestre. Su ligereza, elevada resistencia frente a su poco peso, su resistencia a la corrosión atmosférica y su conductividad eléctrica hacen de él un metal de extendido uso en la actualidad. El Al se extrae de los minerales de la bauxita (boehmita, diásporo y gibbsita), así como de la caolinita, nefelina, anortita, andalucita, sillimanita y distena.

La vitrina **27** está dedicada a los recursos minerales de **manganeso, titanio, cromo** y **molibdeno**. El Mn es el más importante de los metales en la elaboración de aleaciones de Fe. Es necesario para la fabricación de aceros y se encuentra en la corteza terrestre en un porcentaje del 0,09%. Se conocen más de un centenar de especies minerales que contienen Mn, pero sólo una mínima parte de ellas son comerciales. El mineral más importante es la pirolusita, seguido de rodocrosita y rodonita.

El Ti, como el Al, combina poco peso con gran resistencia mecánica y alta resistencia a la corrosión. Es un metal difícil de trabajar y de obtener y en la actualidad sólo se consideran menas explotables la ilmenita y el rutilo.

El Cr es uno de los metales industriales más importantes e indispensables. Es blanco, muy duro y resistente a la mayor parte de los agentes químicos. Hasta finales del siglo XIX, la cromita se empleaba como pigmento de la industria química y como mineral refractario, pero a partir del desarrollo de los aceros inoxidables se ha convertido en un

metal muy apreciado. El cromo se extrae de la cromita, única fuente comercial de este metal.

El Mo, como el Ni, es un metal tecnológico del siglo XX. Su empleo a gran escala comenzó en 1913, empleándose en aceros para blindaje y proyectiles perforantes de blindaje durante la primera guerra mundial. Se obtiene de la molibdenita y de la wulfenita, aunque también puede proceder como subproducto de la minería del cobre o puede ser recuperado en los procesos catalizadores del petróleo.

La vitrina **26** se centra en los recursos minerales de **cobre, bismuto, zinc y plomo**. El Cu es el más importante de los metales no féreos, empleándose prácticamente en todas las industrias. El abanico de posibilidades de utilización de este metal viene dado por sus propiedades: elevada conductividad eléctrica, excelente resistencia a la corrosión, buena conductividad térmica y facilidad para formar aleaciones muy útiles como el latón con el cinc y el bronce con el estaño. El Cu procede del cobre nativo, de la calcopirita, calcosina, bornita, covellina, anargita, tetraedrita, atacamita, cuprita,... Aunque se conocen más de 150 especies minerales de cobre, no llegan a 20 las que son económicamente importantes.

El Bi posee propiedades físicas y mecánicas similares a las del antimonio. Normalmente se extrae como coproducto de la metalurgia extractiva de otros metales (cobre, plomo y estaño, fundamentalmente). Se emplea en medicina y cosmética, para vidrios ópticos y en la fabricación de moldes.

El Zn es un metal ampliamente utilizado debido a su bajo punto de fusión, elevada actividad electroquímica y capacidad de alearse rápidamente con el cobre para la obtención de latón. Se extrae de la esfalerita, smithsonita, hemimorfita y cincita. Se utiliza en aleaciones, galvanizados, fabricación de pinturas y medicina.

Los usos del Pb son muy diversos: en la fabricación de baterías, en la industria del transporte, en gasolinas antidetonantes, en láminas protectoras de los rayos X, en pinturas, vidrios, revestimiento de cables, municiones, etc. La mayor parte de la producción mundial de Pb procede de la galena, aunque también se extrae de la cerusita y de la anglesita.

La vitrina **25** está dedicada a los recursos minerales del **cobalto, estaño, níquel y wolframio**. El Co es un metal de color blanco plata con un ligero toque azulado. Se asemeja en muchas de sus propiedades al Ni, aunque posee más dureza y un marcado carácter magnético. Se extrae de la cobaltita, linneita, carrollita, skutterudita, heterogenita y eritrina, y se emplea en aleaciones resistentes al calor y a la corrosión y para materiales resistentes al corte y al desgaste.

El Sn es un metal de color blanco, dúctil, maleable, muy blando y poco resistente a la tracción. Es el más fusible de los metales corrientes. Se extrae de la casiterita y de la estannita. Su uso más frecuente es en la fabricación de aleaciones, hojalatas, soldaduras y en la industria química.

El Ni es un metal blanco brillante que presenta numerosas analogías con el Fe. Es maleable y dúctil y el más duro de los metales usuales. Son menas de Ni la pentlandita y la garnierita. Se emplea en la fabricación del acero inoxidable, aleaciones y en la fundición.

El W proporciona una gran dureza al acero cuando se alea con él. Son menas de esta sustancia la wolframita, la scheelita, la ferberita y la huebnerita. Se emplea en equipos eléctricos y de transporte sometidos al desgaste, en la elaboración de filamentos de lámparas y en aleaciones.

La vitrina **24** está dedicada a los recursos minerales de **oro, antimonio, plata y mercurio**. El Au es el metal con más futuro del momento presente. Es el más maleable de los metales y muy dúctil. Se alea rápidamente con los metales comunes, fundamentalmente plata, cobre, platino y níquel. Posee una elevada conductividad térmica y es químicamente inerte ante la mayoría de las sustancias, de modo que no se deslustra ni sufre corrosión con su uso. Se emplea fundamentalmente en joyería y electrónica.

El Sb se extrae fundamentalmente de la estibina o antimonita, y también de la cervantita. Sus principales usos son en la obtención de productos metálicos y aleaciones, productos ignífugos, cerámica y vidrio y plásticos.

La Ag es un metal precioso que, junto al oro, ha sido muy apreciado y buscado desde la antigüedad. Su empleo en numismática y orfebrería se ha visto hoy muy reducido, incrementándose su uso en la industria fotográfica y de la electricidad. Se obtiene como plata nativa y también de la argentita, clorargirita, polibasita, proustita y pirargirita.

El Hg es el único metal líquido a las temperaturas ordinarias. En la naturaleza se encuentra en forma de Hg nativo y de cinabrio. Sus usos más frecuentes son las amalgamas, la fabricación de baterías, las pinturas, aleaciones e instrumentos médicos.

La vitrina **23** se centra en los **usos de minerales y rocas industriales**. Se trata de sustancias minerales utilizadas en procesos industriales directamente o mediante una preparación adecuada, en función de sus propiedades físicas y químicas y no en función de las sustancias potencialmente extraíbles de las mismas ni de su energía. Sus usos son muy amplios y cada sustancia tiene, normalmente, varios campos de aplicación.

La evolución en los usos de las rocas y minerales industriales es constante. Como ejemplos, puede citarse la sustitución del asbesto por wollastonita u otros minerales fibrosos, y de la arena de cuarzo empleada como abrasivo por granate, alúmina o escorias, en ambos casos debido a recomendaciones de las autoridades sanitarias.

La vitrina **22** está dedicada a los **recursos energéticos**. Estos recursos (petróleo, gas natural, carbón y uranio) constituyen la principal fuente de energía en la actualidad. Como se trata de recursos no renovables, su consumo implica una sensible disminución de las reservas energéticas, previéndose su agotamiento en un futuro próximo. Las fuentes alternativas de energía presentan la ventaja de ser más limpias y renovables. El principal obstáculo para su explotación es el alto coste de las inversiones y por ello su contribución es aún pequeña. Constituyen el complemento de las fuentes de energía tradicionales.

Los **carbones** son rocas sedimentarias procedentes de la acumulación de restos vegetales y posterior enterramiento en condiciones anaerobias (falta de oxígeno). Sobre estos restos acumulados actúan bacterias que producen un progresivo enriquecimiento en carbono, de forma que cuanto más haya durado su acción, más ricos son desde el punto de vista calorífico y, por tanto, energético.

El **petróleo** es un sedimento líquido de color amarillo oscuro a negrozco, aspecto oleoso, más ligero que el agua y que está compuesto por hidrocarburos líquidos (crudos), sólidos (asfaltos y betunes) y gaseosos (metano, propano, butano, etc.). Su origen se encuentra

en la acumulación de restos de seres planctónicos y de otros animales y plantas en las cuencas marinas. Cuando el plancton muere, su materia orgánica se deposita sobre el fondo marino y es cubierta por nuevos sedimentos. Las bacterias anaerobias transforman la materia orgánica en una sustancia denominada sapropel y, posteriormente, en hidrocarburos. Los sedimentos detríticos asociados a la materia orgánica se transforman en rocas sedimentarias impregnadas de petróleo, constituyendo lo que se denominan “rocas madre”.

El **gas natural** está formado por hidrocarburos ligeros y sobre todo por metano. Puede encontrarse en forma de masas aisladas que no están asociadas a acumulaciones de petróleo. Las técnicas actuales de conducción de gas (gasoductos) y de licuación de gas natural comprimido han posibilitado su uso como fuente de energía superando al petróleo en muchos países.

El **uranio** es un combustible utilizado como recurso energético para la producción de electricidad de origen nuclear. El uranio como combustible presenta una gran concentración energética por unidad de materia: a partir de una tonelada de uranio natural se pueden obtener más de 40 millones de Kw/h. Esta generación equivale a la combustión de 16.000 toneladas de carbón o de 8.000 barriles de petróleo. En la actualidad operan en el mundo 430 reactores que consumen 60.000 toneladas de uranio natural cada año y producen el 17% de la energía eléctrica total generada. En España funcionan en la actualidad nueve reactores con una potencia que representa el 15,4% del total nacional.

3.3 EXPOSICIÓN DE MINERALES DE LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS (Vitrinas 112-138)

En esta exposición se presenta una selección de cerca de 2.000 muestras de minerales de yacimientos españoles. Su interés radica, por una parte, en que gran parte de los ejemplares proceden de minas agotadas desde hace décadas y, por otra, en la presencia de piezas no relacionadas con la minería tradicional pero muy cotizadas por los coleccionistas. Ocupa veintisiete vitrinas y se ubica en la segunda planta del Museo.

La vitrina **112** corresponde a la **Comunidad de Madrid**, región con una gran variedad de especies minerales relacionadas con rocas tanto ígneas como sedimentarias y metamórficas. Desde el punto de vista litológico, la Comunidad se divide en dos grandes áreas: una, al noroeste, en la que afloran rocas ígneas y metamórficas; otra al sureste, formado exclusivamente por rocas sedimentarias. La mayoría de las rocas ígneas de la Comunidad de Madrid son de origen plutónico. Podemos destacar las pegmatitas de la Cabrera, ubicadas en los granitos de esta localidad. Estas pegmatitas se caracterizan por la variedad, tamaño y calidad de sus minerales cristalizados, entre los que podemos destacar una drusa de cuarzo recubierta de prehnita con calcita hexagonal, así como cristales de laumontita, que son los de mejor calidad encontrados en España. También se incluyen en esta vitrina algunos ejemplares de difícil localización en la actualidad, tales como el rutilo de Montejo de la Sierra y el cuarzo “diamante de San Isidro” de ese conocido barrio madrileño.

En la vitrina **113** se exponen minerales de **La Rioja**. En esta comunidad se hallan los mejores yacimientos de pirita de España desde el punto de vista coleccionístico. Destaca el yacimiento de Navajún, donde probablemente aparecen los mejores cristales cúbicos de pirita del mundo. Buenos ejemplos pueden verse en esta vitrina, así como en la vitrina central de la planta baja.

La vitrina **114** está dedicada a la Comunidad de **Navarra**. En esta zona podemos destacar las explotaciones de magnesita de Eugui, en las que aparecen los mejores cristales de dolomita de España. Destacan los romboedros transparentes procedentes de esta localidad. En las canteras de margas cretácicas destinadas a la fabricación de cemento Portland de Olazagutía aparecen agregados muy atractivos de marcasita y piritita, asociados en ocasiones a fósiles.

La vitrina **115** muestra minerales de la Comunidad de **Aragón**, que se caracteriza por la gran cantidad de afloramientos de rocas evaporíticas, destacándose los antiguos yacimientos salinos de Remolinos (ver cubo de halita de gran tamaño procedente de esta localidad). Como se puede apreciar en la vitrina, son muy notables también los cristales seleníticos de yeso de Mequinzenza y Calatayud. Para complementar los conocimientos sobre minerales de esta comunidad, es aconsejable visitar la vitrina central en la que se exponen dos extraordinarias piezas de yeso procedentes de Fuentes de Ebro (Zaragoza).

La vitrina **116** está dedicada a Cataluña y, más concretamente, a los minerales de dos de sus provincias: **Tarragona y Girona**. En estas provincias hay yacimientos metálicos poco habituales, sobre todo de níquel, destacando la niquelina de Bellmut y Esplugas de Francolí (Tarragona). También son destacables por su calidad las bombas volcánicas que contienen olivino procedentes de Olot: es probable que estos cristales puedan ser unos de los mejores de la península.

En la vitrina **117** continuamos con Cataluña, esta vez con **Barcelona y Lleida**. El yacimiento más importante de este área es el de sales de Cardona (Barcelona), conocido desde la antigüedad. El cubo de halita, así como la silvinita y carnalita son buenos ejemplos de los minerales que componen estos yacimientos. También destaca la pieza de xilópalo de excepcional conservación procedente de Cervera (Lleida).

La vitrina **118** está dedicada a **Canarias y Baleares**. Destacan las bombas volcánicas de Lanzarote con granos de olivino verde transparente. También son remarcables las estructuras cordadas formadas por el avance de la lava, típicas de las áreas volcánicas.

La **Comunidad Valenciana** está representada en la vitrina **119**. Dentro de los yesos triásicos que afloran en Chella (Valencia) aparecen unos extraordinarios cristales de cuarzo jacinto de Compostela (ver especialmente los agregados esféricos de cuarzo incluidos en el yeso). También podemos destacar la ofita de Albaterra (Alicante), en la que la alteración ha producido una espectacular mineralogía en la que sobresalen la grossularia y la clinozoisita.

Ciudad Real, provincia perteneciente a la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, está representada en la vitrina **120**. En esta región se sitúa el yacimiento de cinabrio de Almadén, considerado como el mayor yacimiento de mercurio del mundo. En esta vitrina se pueden ver cristales de cinabrio, muy raros, con tamaños desde milimétricos a centimétricos. Destaca la asociación de este mineral con la calcita y el cuarzo.

La vitrina **121** muestra otra provincia de Castilla-La Mancha: **Guadalajara**. De este territorio proceden algunos ejemplares históricos de pirargirita y de otros minerales de plata obtenidos en las minas de Hiendelaencina. De Guadalajara, proviene, además, el conocidísimo aragonito de Molina de Aragón, localidad de la que toma su nombre.

La vitrina **122** reúne minerales de las provincias restantes de Castilla-La Mancha: **Toledo, Cuenca y Albacete**. Son especialmente destacables los cristales de azufre de Hellín

(Albacete), imposibles de encontrar en la actualidad, sobresaliendo entre ellos un gran ejemplar con cristales centimétricos. En Cuenca se encuentra el conocido yacimiento salino de Minglanilla del que se han obtenido cristales de halita, aragonito y cuarzo jacinto.

La Comunidad de Andalucía está representada en cuatro vitrinas. La primera de ellas es la **123** y corresponde a **Córdoba y Sevilla**. Destaca el yacimiento de pegmatitas de Sierra Albarrana (uno de los sectores que conforman el Macizo Hespérico), que contiene una gran variedad de minerales sobresalientes en muchos casos por su calidad y tamaño. Son remarcables los granates incluidos en láminas de moscovita, así como otros granates de tamaño decimétrico. También son importantes los antiguos yacimientos de fluorita de Cerro Muriano (Córdoba), en los que se han obtenido cristales de cuarzo de diferentes coloraciones (cuarzo ahumado, cuarzo lechoso y amatista).

En la vitrina **124** se muestran minerales de **Almería y Granada**. En estas provincias se han explotado en épocas pasadas varios yacimientos metálicos que, además de rendir beneficios económicos, han proporcionado bellos ejemplares mineralógicos. Entre estos yacimientos destaca el de oro de Rodalquilar (Almería), muy conocido tanto en España como fuera de nuestras fronteras, que está asociado a vulcanismo. En la vitrina destaca el ejemplar de plata nativa fibrosa de Herrerías (Almería). La minería del cobre estuvo en auge hasta hace unos años, aunque en la actualidad está paralizada. Destacan los yacimientos filonianos de Güejar Sierra (Granada), de los que proceden algunos ejemplares de calcopirita y romboedros de siderita.

La vitrina **125** está dedicada a las provincias de **Huelva y Málaga**. Dentro de la provincia de Huelva se encuentra el yacimiento de cobre de Riotinto, que es el mayor yacimiento de sulfuros masivos de la faja pirítica ibérica y uno de los más importantes del mundo. Ha aportado abundantes ejemplares, entre los que se destaca la calcopirita y la malaquita. En esta zona aparecen también yacimientos de manganeso en los que se obtienen ejemplares de pirolusita, como el de Calañas (Huelva). Especial mención tiene el cristal de scheelita procedente de Málaga.

La vitrina **126** es la última vitrina dedicada a la Comunidad de Andalucía, y en ella se incluyen las provincias de **Cádiz y Jaén**. En el distrito minero del plomo de Linares- La Carolina se han obtenido abundantes ejemplares de galena cristalizada, de difícil obtención en la actualidad ya que las últimas actividades mineras se llevaron a cabo en 1991. Además, los procesos de alteración en el interior de las masas de galena generaron espectaculares cristales de cerusita y anglesita, que también pueden observarse en esta vitrina. Como mineral acompañante de estos yacimientos destaca la baritina por la morfología y el color de sus cristales. En la provincia de Cádiz, los minerales más representativos son los cristales de azufre extraídos en Conil, que se encuentran asociados a celestina.

En la vitrina **127** se exponen minerales de la Comunidad de Extremadura, y más concretamente de **Badajoz**. Desde el punto de vista geológico, la provincia de Badajoz forma parte del llamado Macizo Ibérico, que constituye uno de los sectores de la cadena orogénica Hercínica. En esta provincia aparecen numerosos yacimientos tipo skarn, antiguamente explotados para la extracción del hierro, siendo la magnetita la especie más abundante en este tipo de yacimientos. En Burguillos del Cerro se han obtenido muy buenos cristales de allanita, magnetita y vonsenita. De Jerez de los Caballeros proceden los espectaculares cristales de pirita (pentagonododecaedros) incluidos en una matriz de clorita y a veces asociados a cristales octaédricos de magnetita.

La vitrina **128** también está dedicada a Extremadura, y más concretamente a **Cáceres**. El rasgo más característico de la geología de Cáceres es la profusión de plutones graníticos formados por rocas ácidas (granitos y granodioritas), más desarrollados hacia el norte. En esta provincia se explotaron antiguamente varios yacimientos de fósforo. Se pueden observar numerosos ejemplares de fosforita (roca formada por varios minerales de fósforo) procedentes de Logrosán y Ceclavín. Asociados a estos yacimientos se han encontrado cristales de apatito con tonalidades blancas y moradas. Es de destacar también la turquesa de Montaña de Cáceres asociada a amblygonita, así como la presencia en esta provincia de uno de los escasos yacimientos de quiastolita (variedad de la andalucita) con claro interés mineralógico.

En la vitrina **129** se muestran minerales de la Comunidad de **Murcia**. Murcia es una provincia minera por excelencia y en ella se han obtenido cristales de muchas especies minerales, siendo la más importante desde el punto de vista económico la galena de La Unión, aunque también se han explotado menas de zinc como la esfalerita, de hierro como la pirita o de manganeso como la pirolusita. Los procesos de alteración generan en la galena vistosos cristales de cerusita. También aparecen en las antiguas explotaciones de óxidos de hierro y manganeso grandes cristales tabulares de baritina. En la provincia de Murcia se encuentra el mejor yacimiento de apatito de España localizado en Jumilla. Estas minas se explotaron a principios de siglo para extraer apatito y producir abonos fosfáticos.

Con la vitrina **130** entramos en la Comunidad de Galicia y en las provincias de **Lugo y A Coruña**. En esta comunidad aparecen numerosos yacimientos de estaño-wolframio incluidos en granitos, en los que se han extraído cristales de casiterita y wolframita (Santa Comba y Noya en A Coruña). La última explotación activa de estos minerales se cerró en 1991. En Rubiales (Lugo) se encuentra un yacimiento de plomo-zinc explotado desde la antigüedad por su contenido en plata y que ha proporcionado grandes cantidades de esfalerita para el beneficio del zinc. Destaca el cuarzo rosa de Puebla del Caramiñal (A Coruña), que quizás sea el de color más intenso de todo el Museo.

En la vitrina **131** se destacan minerales de las provincias de **Ourense y Pontevedra**. Al igual que en el resto de Galicia, también en este área son frecuentes las localidades con yacimientos de estaño-wolframio, tales como Lalín y Silleda (Pontevedra), y en Penouta (Ourense) todavía hay explotaciones en las que se obtienen ejemplares cristalizados de casiterita. Destacan los minerales de origen pegmatítico y dentro de ellos, los berilos de Tierra de Montes (Ourense). Son muy vistosas las septarias piritizadas de Valdehorras (Ourense).

La vitrina **132** y la siguiente están dedicadas al **Principado de Asturias**. La minería de la fluorita se inició en la década de los 40 obteniéndose concentrados del mineral para usos industriales, sobre todo como fundente en la metalurgia. A pesar de que la demanda de fluorita en la industria química se mantiene, el uso futuro de ésta puede verse perjudicado por el peligro que entraña la emisión de compuestos clorofluorados. La fluorita asturiana adopta varias tonalidades, siendo las más relevantes la morada de la localidad de Berbes (asociada a baritina) y la amarilla de Villabona (asociada a dolomita y minerales metálicos). También destaca la calcita que aparece habitualmente asociada a la fluorita en la caliza de montaña.

Siguiendo con los minerales del **Principado de Asturias**, en la vitrina **133** se muestran silicatos, entre los que destacan los cristales de andalucita (quiastolita) incluidos en las corneanas del metamorfismo de contacto existente entre el granito de El Boal y los

esquistos encajantes de la localidad de Doiras. Aparecen también varios yacimientos metálicos como el de cinabrio de Mieres y el de oro de Peñamellera.

En la vitrina **134** se exponen minerales de la Comunidad de **Cantabria**. En los Picos de Europa se encuentra, aunque abandonado en la actualidad, un yacimiento de zinc conocido internacionalmente por la calidad de su esfalerita acaramelada (yacimiento de Áliva). Además, se pueden encontrar los productos de alteración de esta esfalerita, como la hidrocincita. Otros minerales destacables son los óxidos e hidróxidos de hierro, como la goethita irisada de Castrourdiales (Santander).

La vitrina **135** corresponde al **País Vasco**. La minería del hierro en Vizcaya ha sido muy activa, extrayéndose ejemplares de goethita de La Arboleda con morfologías muy variadas. Destacan también las septarias de Deba (Vizcaya) y los grandes cristales de datolita de Eirrigoitia (Vizcaya).

Las tres últimas vitrinas de esta exposición están dedicadas a Castilla-León. La vitrina **136** muestra minerales de las provincias de **Salamanca y Ávila**. Destacan los enormes cristales de berilo obtenidos en las pegmatitas de Salamanca. Dada la abundancia de rocas graníticas en esta provincia, el cuarzo cristalizado es un mineral muy frecuente en algunas de sus variedades: cuarzo rosa en Villar de Pierga y cristal de roca en todo Salamanca. También existen yacimientos de estaño-wolframio, destacándose la casiterita de Barquilla y Lumbrales (Salamanca).

En la vitrina **137** se exponen minerales de las provincias de **Soria, Zamora, Valladolid y Palencia**. En esta área aflora el Triásico en muchos puntos, por lo que es frecuente encontrar grandes maclas de yeso en punta de flecha (Valladolid), además de minerales autigénicos como el aragonito de Medinaceli (Soria).

La Exposición de Minerales de las Comunidades Autónomas finaliza con la vitrina **138**, correspondiente a las provincias de **Burgos, León y Segovia**. Se pueden observar ejemplares de talco del yacimiento de Puebla de Lillo (León), actualmente en explotación. Se muestra también un ejemplar de pirita en el que los cristales están incluidos en talco. Destacan dos piezas: un aragonito coraloide de llamativo color verde de Villamanín (León) y un xilópalo muy bien conservado procedente de Castrillo de la Reina (Burgos).

3.4 EXPOSICIÓN DE ROCAS BÁSICAS (Vitrinas 139-141)

Esta exposición está constituida por tres vitrinas en las que se muestran ejemplos representativos de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas. El carácter de esta exposición es esencialmente didáctico, y está dirigida a estudiantes de primer ciclo de la ESO y de segundo ciclo en la modalidad de Biología y Geología, así como a los estudiantes de 1º de Bachillerato en esa misma modalidad. Se ubica en la segunda planta del Museo.

La vitrina **139** está dedicada a las **Rocas Sedimentarias**, que se clasifican en función de su origen: si su formación tiene lugar por precipitación química, estaremos hablando de rocas carbonáticas (representadas en la vitrina por caliza, dolomía, toba, marga), evaporíticas (representadas por yeso, halita, silvinita) y silíceas (diatomitas, constituidas a su vez por la acumulación de algas diatomeas). Si el origen es detrítico, las rocas sedimentarias se dividen básicamente en conglomerados, areniscas y lutitas.

En la vitrina **140** se exponen las **Rocas Metamórficas**, cuya génesis está siempre relacionada con la existencia de una roca previa, ya sea sedimentaria, ígnea o metamórfica. Esta roca preexistente sufre modificaciones por efecto de la presión, la temperatura o el movimiento. Las rocas metamórficas se clasifican en función del tipo de metamorfismo al que han estado sometidas y del tipo de roca previa al proceso metamórfico. Así, con un metamorfismo regional que afecte a rocas sedimentarias, tendremos la formación de pizarras, esquistos, filitas...; si el metamorfismo ha afectado a rocas carbonáticas, tendremos los mármoles; si las rocas previas son ígneas ácidas tendremos gneis y leuconeis; si son ígneas básicas, esquistos, anfibolitas, granulitas y eclogitas; por último, si el metamorfismo regional afecta a rocas ígneas ultrabásicas, tendremos serpentinita como roca metamórfica resultante. El metamorfismo de contacto da como resultado la formación de esquistos o pizarras mosqueadas y corneanas; el metamorfismo dinámico produce la génesis de cataclastitas y milonitas. Todas estas rocas pueden ser observadas en esta vitrina.

La vitrina **141** está dedicada a las **Rocas Ígneas**, que se dividen en plutónicas y volcánicas. Las primeras se forman siempre en un ambiente más o menos profundo, lo que condiciona sus estructuras características. Las volcánicas se forman en condiciones prácticamente superficiales. Dentro de las plutónicas podemos observar granito, granodiorita, cuarzomonzonita, gabro, peridotita, sienita, basanita, y anortosita. Entre las volcánicas destaca traquita, dacita, basalto, fonolita, ignimbrita, pumita y obsidiana. Las rocas ígneas filonianas se generan por la cristalización de diferentes tipos de magmas en estrechos conductos subverticales (diques) o subhorizontales (sills). Estas rocas filonianas están representadas por pegmatitas, lamprófido y pórfido.

4. ORIENTACIONES PARA LOS PROFESORES: FÓSILES

4.1 EXPOSICIÓN DE FLORA E INVERTEBRADOS FÓSILES ESPAÑOLES (Vitrinas 29-72)

Hasta el siglo XVIII se creía que el Universo había sido creado hacía menos de 60.000 años y la vida unos pocos días después. Fue en el siglo XIX cuando la nueva ciencia de la geología comprobó que la Tierra debía tener unos centenares de millones de años. Ahora sabemos que su edad se acerca a los 4.500 millones de años. En la época de Charles Darwin el registro fósil comenzaba con los restos de organismos encontrados en las rocas del período Cámbrico, lo que permitía determinar edades de hasta 540 millones de años. En el siglo XX se han encontrado huellas de vida microscópica en formaciones rocosas de más de 3.500 millones de antigüedad. Parece ser que los primeros seres vivos empezaron a desarrollarse sobre la Tierra hace más de 3.500 millones de años; por lo menos existen evidencias que muestran con seguridad su presencia en el planeta desde hace 3.300 millones de años. Desde ese periodo hasta el momento actual la evolución de la vida ha seguido caminos muy diversos, desde el barro primigenio hasta el hombre moderno, dando lugar a multitud de formas. Esta diversidad morfológica queda plasmada en esta exposición.

La Paleontología es la ciencia que se encarga del estudio de los organismos del pasado, así como de los cambios que se han ido produciendo en el mundo biológico a través del tiempo. Al conjunto de fósiles existente se le conoce como registro fósil. La Exposición de Flora e invertebrados Fósiles Españoles se ubica en la planta baja del Museo y muestra la amplia diversidad del patrimonio paleontológico español en lo que a invertebrados y plantas se refiere. Se exponen unos 8.000 fósiles en cuarenta y cuatro vitrinas, siendo su hilo conductor la ordenación cronoestratigráfica desde el Cámbrico al Plioceno. Los fósiles expuestos abarcan edades comprendidas entre el Proterozoico superior y el Plioceno, es decir, entre 650 y 1,8 millones de años.

A continuación se describen algunos de los fósiles más característicos que se pueden ver en esta exposición.

PALEOZOICO (vitrinas 29-42)

CÁMBRICO (540-500 millones de años). Tras la glaciación de finales del Precámbrico hubo un cambio climático que inundó las plataformas que rodeaban a los fragmentos desmembrados del macrocontinente Pangea I en los que prosperaron complejas asociaciones de organismos. Las rocas más características de este sistema son areniscas, pizarras y calizas. Areniscas y pizarras proceden de arenas y arcillas sedimentadas en los fondos marinos y posteriormente compactadas. Las calizas generalmente tienen su origen en bioconstrucciones realizadas por calcimicrobios y representantes primitivos del grupo de las esponjas.

Si comenzamos la visita siguiendo el orden cronológico de las vitrinas, empezaremos en el Cámbrico (**vitrinas 29-30**). Podemos ver un montículo microbiano producido por la actividad biológica de microbios que inducen el proceso de calcificación o atrapan y fijan sedimentos. O el arqueociato *Aldanocyathus*, un organismo exclusivamente cámbrico y con morfología muy similar a la de los corales. También veremos algunos trilobites (*Conocoryphe*, *Paradoxides*), artrópodos muy abundantes en los mares paleozoicos y cuyo registro fósil abarca desde el Cámbrico Inferior hasta el final del Pérmico (hace unos

250 m.a.). Los trilobites colonizaron todos los nichos ecológicos marinos durante casi 300 millones de años y desaparecieron del escenario de la vida tras la gran extinción pérmica. En España destacan como localidades clásicas de esta edad las del suroeste peninsular y el yacimiento de Murero (Zaragoza).

ORDOVÍCICO (500-435 millones de años). A comienzos del Ordovícico los fragmentos derivados de la desintegración de Pangea I se individualizaron completamente destacando entre ellos el macrocontinente Gondwana. Nuevos mares se abrieron al separarse los continentes debido a la tectónica de placas. A lo largo de este período la vida es todavía exclusiva de los ambientes marinos. Las pizarras son las rocas características del Ordovícico y también las cuarcitas. Sobre las extensas plataformas que rodeaban por el N al continente de Gondwana se depositó la llamada “Cuarcita Armoricana” donde abundan las pistas fósiles de trilobites llamadas *Cruziana*. Durante el Ordovícico se produjo una nueva radiación evolutiva de bivalvos, equinodermos, graptolitos, trilobites y briozoos, así como de microplancton y de peces primitivos. La radiación está relacionada con varios periodos transgresivos en los que las plataformas continentales fueron invadidas por el mar, ofreciendo nuevas oportunidades para la evolución.

En el Ordovícico español (**vitriñas 31-33**) no sólo son frecuentes los restos de estos invertebrados marinos, sino también las huellas de su actividad biológica, denominadas de forma genérica *Cruzianas*. El Ordovícico se inicia hace 500 m.a. y es en este momento cuando aparecen por primera vez en el registro fósil las huellas de algunos endocerátidos (*Cameroceras*), cefalópodos marinos de concha externa sin enrollar. En España se han encontrado en la Cordillera Cantábrica y en Sierra Morena.

SILÚRICO (435-410 millones de años). El Silúrico comienza con unas características climáticas especiales. El hemisferio Sur de la Tierra estaba cubierto por hielos: una glaciación estaba en curso. Los antiguos continentes seguían separándose y el agua continúa acaparando la vida, aunque comienza el registro de las primeras plantas terrestres. Los afloramientos de rocas silúricas son poco abundantes. Las rocas más características son pizarras negras cuyo origen hay que buscarlo en limos marinos organógenos de zonas sin aireación donde se acumulaban los restos de algunos invertebrados planctónicos. A comienzos del Silúrico se constata la extinción de algunas familias de invertebrados. Los trilobites continúan siendo importantes en la vida marina, pero otro grupo destaca sobre todos los demás: los graptolitos, invertebrados coloniales planctónicos que tuvieron una distribución cosmopolita. Poco antes de finalizar el Silúrico se diversificaron los peces acorazados sin mandíbulas.

El inicio del Silúrico se produjo hace unos 435 m.a. Durante esta etapa son muy abundantes los graptolitos (*Monograptus*, *Petalograptus*, *Colonograptus*), un tipo de organismos coloniales marinos exclusivamente paleozoicos y sin equivalentes actuales. Estos fósiles son muy frecuentes en las pizarras negras de yacimientos de León, Asturias, Extremadura y Toledo (**vitrina 34**).

DEVÓNICO (410-360 millones de años). Sucesivas colisiones entre fragmentos derivados de Pangea I forman cadenas montañosas que aglutinan nuevos macrocontinentes, como Laurasia, en tanto que Gondwana se coloca en posición austral. Los animales inician la colonización de las aguas dulces y de los márgenes de las zonas continentales, que ya presentan paisajes boscosos de coníferas y helechos arborescentes. Dentro de este Sistema son características las rocas de origen continental, fluvial y lacustre formadas por la erosión temprana de las nuevas cadenas montañosas en las que aparecen los primeros vertebrados terrestres. En los mares se generaron grandes

cantidades de calizas que contienen diversas asociaciones de corales y equinodermos. Los peces, tanto continentales como marinos, se diversificaron enormemente. En el mar aparecen los primeros peces cartilaginosos, mientras que el medio continental comienza a ser colonizado por artrópodos. Insectos, arañas y escorpiones ocupan los nichos ecológicos terrestres de este nuevo mundo. Se produce un gran salto evolutivo en los continentes: aparecen los primeros vertebrados tetrápodos. Los primeros anfibios pueden respirar al aire y moverse libremente por las tierras cercanas a los márgenes de agua.

El tránsito al Devónico tuvo lugar hace 410 m.a. En los afloramientos devónicos españoles (**vitriñas 35-37**) son muy frecuentes los corales solitarios y coloniales (*Combophyllum*, *Favosites*) y los braquiópodos (*Cyphoterorhynchus*, *Schizophoria*, *Cyrtospirifer*), así como bivalvos (*Panenka*), trilobites (*Phacops*), ammonoideos (*Goniatites*) y crinoideos (*Trybliocrinus*), que constituyen un grupo de equinodermos muy abundantes en el Paleozoico y con pocas especies actuales. En el Museo se expone material procedente del afloramiento clásico de Colle (León), así como de Almadén (Ciudad Real), Asturias, Palencia y la Cordillera Ibérica.

CARBONÍFERO CONTINENTAL (360-300 millones de años). Aunque ya en el Devónico se desarrollaron los primeros bosques, es a partir del Carbonífero cuando sobre los continentes proliferan los seres vivos. Excepto en Gondwana meridional, ocupada por los hielos, bosques tropicales y templados se extendían por la Tierra y en ellos multitud de invertebrados y vertebrados evolucionaban para adaptarse a este nuevo medio. Numerosas selvas y pantanos cubrieron gran parte de la Tierra. La producción orgánica vegetal fue de tal magnitud que los restos de las plantas y de algunos de los animales que vivieron a su alrededor se acumularon gradualmente en las cuencas sedimentarias. Tras el enterramiento de esta materia orgánica durante millones de años se generó el carbón, tipo de roca que nombra a este sistema.

El Carbonífero continental español (**vitriñas 38-40**) está representado por una importante colección de restos vegetales procedentes de las minas de carbón de la cuenca asturleonés. Destacan los frondes de helechos (*Pecopteris*, *Mariopteris*) y los troncos de *Sigillaria*, *Lepidodendron* y *Calamites*.

CARBONÍFERO MARINO (360-300 millones de años). La progresiva aproximación entre las masas continentales favoreció la formación de extensas plataformas marinas someras, llanuras pantanosas costeras y cuencas intracontinentales por erosión de los relieves producidos por colisiones precoces entre ellas. En las plataformas la vida marina continúa su evolución, mientras que en llanuras y cuencas se concentraron ingentes cantidades de restos orgánicos de origen vegetal. Las formaciones marinas de esta época son muy extensas y características y están constituidas por pizarras y, sobre todo, calizas que contienen restos fósiles de corales y distintas clases de invertebrados bioconstructores primitivos. La vida en un mar con condiciones tropicales estuvo caracterizada por grandes arrecifes construidos por corales anatómicamente primitivos y otros muchos tipos de invertebrados marinos coloniales ya extinguidos. Braquiópodos gigantes, crinoideos y algas habitaban en el sustrato, mientras cefalópodos, peces óseos y tiburones nadaban sobre ellos. Los trilobites, aunque perduran, disminuyen en número y variedad. Los foraminíferos (organismos unicelulares) sufren una gran expansión, pero en realidad la mayor diversificación es la que afecta a los vertebrados.

En el Carbonífero marino (**vitriñas 41-42**) ya encontramos representantes de un gran número de grupos de invertebrados que, aunque en su mayoría aparecen en el Cámbrico, son muy abundantes en este momento. Son frecuentes los braquiópodos (*Productus*), crinoideos (*Rhabdocrinus*), briozoos (*Fenestella*), bivalvos (*Schizodus*), trilobites

(*Bollandia*), gasterópodos (*Bellerophon*) y ammonoideos (*Goniatites*) procedentes principalmente de localidades palentinas. Destacan también algunos microfósiles unicelulares como el foraminífero *Fusulina*.

MESOZOICO (VITRINAS 43-61)

PÉRMICO-TRIÁSICO (250-205 millones de años). El Permo-Trías marca el tránsito entre la era Paleozoica y la Mesozoica, caracterizada por nuevos grupos de animales y vegetales. En el Pérmico se completa el ensamblaje de los macrocontinentes en una única masa de tierra llamada Pangea II. Durante el Pérmico la glaciación gondwánica pierde fuerza y el clima se convierte en cálido y árido lo que, unido al descenso del nivel del mar, da lugar a la formación de desiertos donde se depositan arenas eólicas y potentes formaciones salinas. Esta crisis fue la causa de la gran extinción de organismos ocurrida a finales del Pérmico. Durante el Triásico, Pangea II comienza a fragmentarse formando cuencas que se rellenan de depósitos aluviales y evaporíticos. El clima es más cálido y cada vez más húmedo. Tras la extinción pérmica muchos invertebrados sucumbieron. Los bivalvos y los peces recuperaron parte de su diversidad original durante el Triásico, pero los corales tardaron más tiempo en recuperarse y los trilobites desaparecieron. Aparecen en la Tierra los dinosaurios y los mamíferos.

El inicio del Mesozoico se produce en el Triásico (**vitrina 43**), hace unos 250 millones de años, y tiene lugar tras la mayor extinción de la historia de la biosfera. En España, este periodo de tiempo está representado por un conjunto no muy abundante de fósiles, entre los que destacan ammonoideos (*Ceratites*, *Protrachyceras*, *Germanonutilus*), bivalvos (*Myophoria*, *Placunopsis*, *Entolium*) y gasterópodos (*Omphaloptycha*) que proceden en su mayoría de diversas localidades de la Cordillera Costero-Catalana.

JURÁSICO (205-135 millones de años). La Pangea II comenzó su dispersión durante el Jurásico. Los continentes actuales, originalmente unidos en una posición ecuatorial, se comenzaron a disociar. Se separa Norteamérica de África, la India de África y la Antártida, la Antártida y Australia de África, e Iberia comienza a individualizarse de Eurasia y África. El mar Tethys, predecesor del actual Mediterráneo, tuvo su máximo desarrollo. Bajo un clima semitropical las plataformas marinas carbonatadas cubrieron grandes extensiones del Tethys. Las calizas y las margas sedimentadas en estos medios marinos son las rocas características de este periodo. Parece ser que este primigenio Mediterráneo era muy poco profundo, de manera que las plataformas de cientos de km² constituyeron el hábitat de los organismos marinos. En los mares proliferaron los ammonites, verdaderos marcadores de este período. Junto a ellos, que nadaban libremente, coexistieron sobre el fondo variados tipos de equinodermos y braquiópodos. Los vertebrados marinos dominantes fueron los primeros peces teleósteos, alimento habitual de los ictiosaurios (reptiles marinos). En tierra los dinosaurios sufrieron su gran radiación evolutiva, dispersándose por los continentes y dejando numerosas huellas de su paso por la Tierra. A finales del Jurásico, surgieron las primeras aves de un grupo de dinosaurios carnívoros.

El Jurásico español (**vitriñas 44-50**) está ampliamente representado por ammonoideos (*Hildoceras*, *Dactyloceras*, *Pleydellia*, *Pseudoperisphinctes*, *Garantiana*, *Aspidoceras*), braquiópodos (*Lobothyris*, *Zelleria*, *Tetrarhynchia*, *Spiriferina*, *Morrisithyris*, *Pygope*), bivalvos (*Plicatula*, *Pholadomya*, *Lopha*), gasterópodos (*Natica*, *Pleurotomaria*) y belemnites (*Passaloteuthis*) procedentes en su mayoría de diversas localidades de la Cordillera Ibérica, y también de las Béticas y de las cuencas vasco-cantábrica y asturiana.

CRETÁCICO (135-65 millones de años). El Atlántico se formó tras la separación definitiva de Norteamérica del resto de Pangea al tiempo que Iberia se independizaba aún

más de Eurasia y África. Durante la primera mitad del Cretácico se dieron condiciones sedimentarias continentales, mientras que la segunda mitad está caracterizada por la llamada “Gran Inundación”. El nivel del mar pudo subir hasta 500 m, lo que creó enormes plataformas marinas. En su máximo, casi un 40% de los continentes quedó bajo el mar. El clima subtropical alcanza las regiones polares. Durante el Cretácico Inferior, bajo un clima de subtropical templado a tropical, predominan depósitos deltaicos de plataforma marina somera o arrecifales, mientras que el Cretácico Superior se caracteriza por una sedimentación netamente carbonatada en las inmensas plataformas oceánicas. En estos lugares proliferaron unos nuevos tipos de arrecifes creados por moluscos bivalvos llamados rudistas. La vida en los continentes tuvo como protagonistas a los dinosaurios y a las primeras plantas con flores. Los dinosaurios se diversificaron notablemente hasta su desaparición definitiva a finales del Cretácico, cuando todo animal terrestre que pesara más de 25 kg habría de sucumbir. Mientras, las aves y los mamíferos continuaron su lenta evolución. En los mares se produjeron pocos cambios relevantes. La diversidad animal disminuyó notablemente a finales de este periodo con la extinción de los ammonites y de otros muchos invertebrados como los rudistas. En el mar Tethys, rebosante de microplancton sepultado por sedimentos anóxicos se formaba más de la mitad de las reservas petrolíferas mundiales conocidas.

El Cretácico en España (**vitriñas 51-61**) está representado por un amplio y diverso grupo de invertebrados tales como braquiópodos (*Cyclothyris*, *Sellithyris*), corales (*Trochosmilia*, *Placosmilia*, *Cyclolites*, *Heliastrea*), plantas (*Montsechia*, *Cladophlebis*), insectos (*Iberonepa*), gasterópodos (*Natica*, *Cerithium*, *Spondylus*), ammonites (*Barremites*, *Neocomites*, *Phylloceras*, *Nautilus*), equínidos (*Heteraster*, *Hemiaster*, *Cidaris*, *Echinocorys*), y bivalvos (*Lima*, *Ostrea*, *Inoceramus*, “*Hippurites*”). Dentro de los protoctistas, destacan los foraminíferos (*Orbitolina*, *Lacazina*, *Lepidorbitoides*).

CENOZOICO (VITRINAS 62-72)

PALEOCENO. Con un clima tropical generalizado hasta latitudes polares, la Tierra comienza a adquirir en el Paleoceno su configuración actual, con la India en posición ecuatorial. Las dorsales oceánicas del Atlántico y del Pacífico emitieron grandes cantidades de basalto creando la fina, pero extensa, corteza oceánica actual. La erosión en los continentes fue muy intensa durante el inicio del terciario. Se formaron cuencas evaporíticas restringidas en áreas continentales y potentes formaciones de turbiditas (flysch) cerca de los bordes de las placas, anunciando su inminente colisión. El inicio del Paleoceno estuvo caracterizado por la gran expansión de los mamíferos. Tras la extinción de los dinosaurios, los nichos ecológicos de los medios terrestres y marinos ocupados por ellos quedaron libres, posibilitando la diversificación de los mamíferos. Los representantes de esta clase de vertebrados habían estado hasta entonces relegados a un segundo plano en las primitivas comunidades de la Tierra. Otros reptiles, como cocodrilos y tortugas superaron la gran extinción finicretácica, siendo a partir de ese momento relativamente abundantes en los ecosistemas continentales en los que predomina una vegetación de tipo tropical y subtropical, con bosques caducifolios en áreas circumpolares.

EOCENO (53-34 millones de años). Durante el Eoceno tiene lugar un gran desarrollo de las cuencas intracontinentales. En España son importantes los depósitos marinos del Pirineo y los sedimentos detríticos continentales de la cuenca del Duero. Grandes sistemas fluviales se encajan en las mesetas erosionando las cadenas montañosas, en tanto que la Placa Ibérica colisionaba en sucesivos impulsos contra Europa, a la vez que la India empezaba a hacerlo contra Asia. Las selvas tropicales alcanzaron su máxima

extensión a principios del Eoceno, pero a partir de su parte media empiezan a aparecer signos de enfriamiento en los océanos: los bosques polares comienzan a reducirse y los mamíferos se diversifican, aunque aún habrían de pasar bastantes millones de años hasta que llegaran a desarrollar tamaños corporales incluso moderadamente grandes. A lo largo del Paleoceno aparecen las zarigüeyas, los primeros ungulados, los insectívoros, los carnívoros, los primeros primates, los roedores, los murciélagos y otros muchos grupos primitivos ya extinguidos. Posteriormente, en el Eoceno, surgen los órdenes de mamíferos que más tarde aumentarían su tamaño corporal, como los cetáceos, los ungulados de dedos pares (artiodáctilos) y los ungulados de dedos impares (perisodáctilos).

El Eoceno español (**vitrinas 62-65**) está representado por una gran abundancia de icnofósiles (pistas fósiles) procedentes del flysch de Zumaya (Guipúzcoa). Por ejemplo, *Scolicia*, *Palaeodictyum*, *Lorenzina*, *Helminthoidea* y *Skolithos*. En otros afloramientos encontramos corales como *Montlivaultia* y *Cyclolites*, o foraminíferos como *Nummulites*, *Alveolina* y *Assilina*. En algunos yacimientos de las provincias de Alicante, Lérida, Huesca y Barcelona son abundantes los bivalvos (*Spondylus*, *Mytilus*, *Ostrea*), los gasterópodos (*Cassis*, *Cerithium*, *Triton*), equínidos (*Clypeaster*, *Echinolampas*, *Conoclypeus*), y crustáceos (*Xhantopsis*, *Harpactocarcinus*).

OLIGOCENO (28-23,5 millones de años). El clima se enfría paulatinamente formándose los primeros glaciares en la Antártida que finalmente se separa de Suramérica. En los continentes boreales predominan bosques mixtos de coníferas y caducifolias, mientras que las selvas tropicales se reducen aún más que en la actualidad. Iberia se suelda definitivamente a Europa, a la vez que África comienza a empujarla desde el sur y la India se empotra contra el Tíbet. No existen pruebas de que en esta época se produjeran cambios profundos en el seno de los mamíferos, incluso en el de los peces. Fue un periodo de estabilidad evolutiva, una transición entre los tumultuosos inicios del Terciario y la serie de apariciones y migraciones de mamíferos más modernos que se producirían con posterioridad. El acontecimiento evolutivo más importante del Oligoceno es la aparición de los primeros simios. En El Fayum (Egipto) se han encontrado fósiles exclusivos del continente africano en un momento en el que este fragmento de la Tierra se encontraba aislado del resto del mundo. Allí se han localizado fósiles de primates ya extintos: *Aegyptopithecus* y *Propliopithecus* son dos de los géneros de simios más primitivos.

En el Oligoceno español (**vitrina 66**) y en lo que a invertebrados y plantas se refiere, se han encontrado gasterópodos como *Melanopsis* y *Planorbarius*, bivalvos como *Cyrena* y plantas como la palmera fósil *Sabal* del yacimiento de Tárrega (Lérida).

MIOCENO MARINO (23,5-5,3 millones de años). El empuje hacia el norte de África contra Eurasia e Iberia da lugar a los Alpes y Cordilleras Béticas, mientras que la India continúa hundiéndose bajo Asia para formar el Himalaya. Hace aproximadamente 6 millones de años se cerró la comunicación entre el Atlántico y el Mediterráneo mediante la elevación del arco de Gibraltar, combinada con el descenso del nivel del mar debido al crecimiento del casquete polar antártico. El Mediterráneo se desecó parcialmente y durante 1 millón de años Europa quedó comunicada con África. Durante este tiempo se depositaron de forma intermitente más de mil metros de sales en algunos puntos del Mediterráneo: en total el 6% de la sal que había en todos los océanos del mundo. Hace unos 5 millones de años el arco de Gibraltar se rompió a causa de las tensiones tectónicas y se rellenó el mar Mediterráneo. Los mares miocenos fueron muy ricos en fitoplancton. Se formaron las primeras corrientes de fondo oceánico en Atlántico con un enriquecimiento del aporte alimenticio marino, lo que atrajo a algunos mamíferos al agua. Focas y ballenas prosperaron en los mares a partir de ese momento. Otros animales

marinos, los tiburones, adquirieron un tamaño espectacular. Los ancestros de los tiburones blancos actuales, *Carcharodon*, llegaron a tener hasta 20 m de largo con dientes de hasta 20 cm de longitud.

El Mioceno marino español (**vitriñas 68-69**) está básicamente representado por algunos yacimientos situados en las inmediaciones de Barcelona. Así, son frecuentes los bivalvos (*Chlamys*, *Mytilus*, *Pecten*, *Venus*, *Panopaea*), los corales (*Orbicella*, *Solenastrea*), los braquiópodos (*Terebratula*), los equínidos (*Clypeaster*, *Schizaster*), los gasterópodos (*Conus*, *Planorbarius*) o los artrópodos (*Balanus*, *Cancer*).

MIOCENO CONTINENTAL (23,5-5,3 millones de años). Tras unas condiciones iniciales relativamente cálidas se produjo una variación climática en el Mioceno debido a cambios tectónicos y atmosféricos globales. El clima se hizo mucho más contrastado, árido y frío, con gran desarrollo de cuencas endorreicas y lagos salinos rodeados de sabanas herbáceas, que se dulcificó al final de esta época. Este es, sin duda, uno de los acontecimientos más importantes de los últimos 500 millones de años. En estos hábitats abiertos las hierbas fueron los vegetales predominantes ya que cubrieron un tercio de la superficie de los continentes, siendo el alimento básico de la fauna mundial. Los mamíferos pastadores desarrollaron dientes con las coronas más altas, puesto que las hierbas absorben la sílice del suelo y desgastan notablemente los dientes de los animales. En esta época progresan las especies adaptadas a los hábitats abiertos. Los roedores, los antílopes, los elefantes, los hipopótamos y los antepasados de los caballos llegaron a ser muy abundantes. Los felinos dientes de sable y las hienas hacen su aparición y se diversifican rápidamente. Los primates sufren una gran expansión, tanto en Suramérica como en África. Es en este último continente donde aparecen las primeras especies de homínidos, familia que engloba a los grandes simios actuales y a los humanos. A su vez, las plantas con flores sufren una enorme diversificación desde su aparición en el Cretácico. Estas plantas parecen haber desencadenado una segunda gran radiación de los insectos. Con ellas surgieron nuevos grupos como las mariposas, las polillas, las hormigas y las abejas. La polinización es el proceso que los vinculó evolutivamente.

Si nos ceñimos a la presencia de restos vegetales, el Mioceno continental español (**vitriña 67**) se destaca por el yacimiento de la Cerdaña (Lérida), en el que se ha encontrado una gran cantidad de fósiles vegetales, como *Alnus*, *Betula*, *Acer*, *Prunus*, *Quercus*, *Laurophyllum* y *Fagus*.

PLIOCENO (5,3-1,8 millones de años). A comienzos del Plioceno se produce el último calentamiento relativo de importancia para desembocar al final en una nueva crisis de aridez y enfriamiento. Esta época fue testigo de la extinción de numerosas especies del Mioceno y de nuevas tendencias entre los herbívoros más grandes adaptados a dietas más duras. En África surgen los Australopitecos y los primeros representantes del género humano. Estos convivieron en unas paleocomunidades en las que, además de variadas especies de bóvidos y de caballos de tres dedos, abundaban los mastodontes, los grandes felinos con dientes de sable y las hienas. La hominización y la humanización son procesos evolutivos de muy rápido desarrollo.

Los invertebrados pliocenos españoles (**vitriñas 71-72**) son frecuentes en el área de Málaga y Almería, así como en algunos yacimientos de la provincia de Barcelona. Destacan bivalvos como *Ostrea*, *Callista*, *Chlamys*, *Venus* y *Pecten*; artrópodos como *Balanus*; corales como *Trochocyathus* y *Flabellum*; gasterópodos como *Turritella*, *Fusus*, *Murex*, *Triton* y *Strombus* y braquiópodos como *Terebratula*.

4.2 EXPOSICIÓN DE PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA (Vitrinas 224-245)

Esta exposición ocupa veintidós vitrinas y su principal objetivo es introducir los principales grupos de invertebrados fósiles desde una perspectiva evolutiva, haciendo especial hincapié en sus características morfológicas más distintivas. Se ubica en los pasillos de acceso al Museo.

En las dos primeras vitrinas (**224 y 225**) se plantea resolver algunos interrogantes sobre la paleontología, esto es, qué son los fósiles, cómo se nombran, cómo extraer información de su aparición en el registro, cuántos tipos existen, para qué se estudian, en qué medios pueden aparecer, etc. Se explican algunas de las características más importantes de los principales grupos de fósiles que aparecen en el registro (poríferos, cnidarios, moluscos, braquiópodos, equinodermos, artrópodos, vertebrados). Para poder entender el significado de los fósiles, la evolución, y por tanto, la idea del tiempo en geología se muestra una escala de tiempo geológico en relación a la aparición en el registro fósil de los principales grupos de organismos.

La historia humana se cuenta en días y siglos. Su unidad más amplia son mil años, lo que no es mucho más que un parpadeo para los geólogos y paleontólogos cuya medida habitual son los millones de años. Frente al pasar de los animales los humanos tienen una larga vida, pero se requiere una gran imaginación para comprender la extensión absoluta y el significado del tiempo geológico. Una comparación común es imaginar la edad de la Tierra como un simple día cosmológico, tal y como se puede ver en el gráfico de la vitrina 225: los primeros fósiles seguros habrían aparecido a las 6:00 h; los primeros vertebrados, a las 21:20 h; los dinosaurios al anochecer, a las 22:42 h; los primeros mamíferos, a las 22:59 h; los primeros primates, a las 23:59 h; y el ser humano moderno y la civilización, en el último segundo.

La escala de tiempo geológico fragmenta esas divisiones del tiempo en unidades un poco más manejables, establecidas mediante un convenio internacional desde mediados del siglo XX. De este modo, la historia de la Tierra se divide en eones, eras, períodos y subdivisiones menores. Los saltos entre los períodos están marcados por los cambios importantes en las clases de rocas depositadas, y/o de forma más crucial, en los fósiles de plantas o animales que ellas contienen.

Como puede verse en la escala cronoestratigráfica de la vitrina 224, los períodos están agrupados en las Eras Paleozoica (“vida antigua”), Mesozoica (“vida media”) y Cenozoica (“vida reciente”). Estos nombres fueron dados en 1841 siguiendo los cambios clave hallados en los límites entre estas eras según se veían en el siglo XIX: de la ausencia de vida a vida a comienzos del Paleozoico; un cambio en más de la mitad de los grupos vivos en los inicios del Mesozoico; y la pérdida de muchos grupos principales en el límite del Mesozoico al Cenozoico. Las edades que contenían fósiles se llaman Fanerozoico (“vida abundante”) y al amplio lapso anterior de rocas y tiempo se le llamó Proterozoico (“vida más temprana”). La escala de tiempo geológico se fundamenta en la datación relativa de las rocas mediante los fósiles contenidos en ellas. La evolución de la vida determina que ninguna especie en particular dure para siempre.

Todas las vitrinas están estructuradas según un modelo común que se inicia con una introducción sobre el grupo a tratar, aspectos generales sobre su morfología externa, modo de vida y distribución estratigráfica (es decir, cuándo aparecen por primera vez en el registro fósil y cuándo se extinguen). La mayor parte de los ejemplares que contienen

procede de colecciones europeas con el fin de ilustrar también la variabilidad del registro fósil fuera de nuestras fronteras.

La vitrina **226** corresponde al denominado **Filo Porifera**, que incluye a los arqueociatos (un grupo de invertebrados exclusivamente cámbrico) y a las esponjas, que llegan hasta nuestros días. Entre los arqueociatos, destaca *Erismacoscinus* del Cámbrico Inferior de Las Ermitas (Córdoba) y *Agastrocyathus* de Arroyo Pedroche (Córdoba). Entre las esponjas, destaca *Siphonia* del Cretácico Superior francés.

En la vitrina **227** se exponen ejemplares del **Filo Cnidaria**. Este grupo de invertebrados incluye a los corales, famosos organismos bioconstructores, que se dividen en tabulados y rugosos (exclusivamente paleozoicos) y escleractinios, cuyo primer registro corresponde al Triásico y llegan a la actualidad. Entre los corales rugosos destacamos *Acervularia goldfussi*, coral colonial, y *Cyatophyllum turbinatum*, coral solitario, ambos del Devónico Medio del Sáhara. Entre los tabulados destaca *Favosites basaltica* del Devónico africano. Los corales escleractinios también pueden ser solitarios o coloniales. Entre los primeros destaca *Montlivaultia trichotoma* del Jurásico Superior alemán. Los coloniales están representados por *Goniastrea formosissima*, del Cretácico Superior francés.

Los representantes del **Filo Arthropoda** están repartidos a lo largo de tres vitrinas (228, 229 y 230). En la vitrina **228** se exponen las Clases Crustacea y Hexapoda, destacando los restos de crustáceos fósiles procedentes del yacimiento clásico de Solnhofen (Jurásico Superior de Alemania), tales como *Eryma minuta*, *Mecochirus bajeri*, *Antrimpos*, o *Aeger*. También destaca el crustáceo *Austrapotamobius llopisi* procedente del Cretácico Inferior del famoso yacimiento de Las Hoyas (Cuenca). Entre los hexápodos, es decir, los insectos, destaca *Cybister*, un coleóptero conservado en alquitrán y procedente del Rancho de La Brea (California); y *Libellula?*, del Oligoceno de Izarra (Álava). En Las Hoyas también hay registro de insectos, como *Iberonepa romerali*, así como en el Mioceno Inferior de Ribesalbes (Castellón), donde ha aparecido *Nomochirus sampelayoi*. Especial mención merecen otros hexápodos, como son los conservados en ámbar procedentes de la República Dominicana o del Báltico (ver también vitrina 80).

La vitrina **229** está dedicada a los artrópodos más antiguos del registro geológico, la clase **Trilobita**. Estos organismos constituyen uno de los grupos más diversificados y longevos de todos los tiempos. Entre las formas españolas destacan *Neseuretus (N.) tristani*, *Ectillaenus giganteus*, *Isabelinia glabrata* y *Uralichas hispanicus*, del Ordovícico de Ciudad Real, y *Bollandia trivignoi*, del Carbonífero de Aliseda (Cáceres). Otras formas importantes pueden ser las del Cámbrico de la república Checa, como *Ellipsocephalus hoffi* o *Agraulos ceticephalus*; del Ordovícico de Gran Bretaña, como *Platycalymene duplicata* y *Trinucleus fimbriatus* o del Ordovícico ruso, como *Asaphus cornutus* o *Neoasaphus punctatus*. Del Ordovícico de Marruecos destacan los trilobites conservados en nódulos, como *Flexicalymene ouzregui*.

En la vitrina **230** se muestra la **Clase Chelicerata**, otro grupo de artrópodos que se subdivide a su vez en Merostomas (acuáticos) y Arácnidos (terrestres). Entre los merostomas destacan los euriptéridos que, al igual que los trilobites, son formas exclusivamente paleozoicas. Están representados por el género silúrico *Eurypterus*. Los fósiles de arácnidos son mucho más escasos puesto que las arañas viven en un ambiente subaéreo nada propicio a su posible conservación fósil. No obstante, la colección de artrópodos fósiles cuenta con un arácnido del Carbonífero Superior encontrado en el testigo de un sondeo realizado en la cuenca minera de León-Palencia. Se trata de *Aphantomartus areolatus*, primer arácnido paleozoico descubierto en España y presenta una morfología intermedia entre las arañas y los escorpiones actuales.

En la vitrina **231** se tratan aspectos introductorios relacionados con el **Filo Mollusca**. Los Moluscos constituyen uno de los grupos de invertebrados más diverso, que incluye un gran número de formas tanto actuales como fósiles, de aspecto muy diferente. Las clases de moluscos con representantes fósiles son monoplacóforos, de los que derivan cefalópodos, gasterópodos y rostroconchas, y bivalvos y escafópodos, que a su vez derivan de los rostroconchas. En las vitrinas siguientes se explican con detalle todas estas clases de moluscos.

La vitrina **232** se centra en las clases **Poliplacophora**, **Rostroconcha** y **Scaphopoda**. Los poliplacóforos son los organismos conocidos como chitones. Poseen una concha formada por 7 u 8 placas calcáreas. Los rostroconchas constituyen el único grupo extinto de moluscos. Los escafópodos son moluscos marinos que viven enterrados en el sedimento y cuya morfología recuerda a una defensa en miniatura de un proboscídeo, por lo que han recibido el nombre de “colmillo de elefante”.

La clase **Bivalvia** está representada en las vitrinas **233** y **234**. Esta clase agrupa a organismos acuáticos que se conocen desde el Cámbrico y que llegan a la actualidad. Son una clase de moluscos muy evolucionada que poseen una concha externa formada por dos piezas o valvas que se articulan dorsalmente. Sus modos de vida son muy variados: los bivalvos incluyen formas fijas, nadadoras, perforantes, excavadoras, etc. La mayoría de los ejemplares expuestos proceden de yacimientos jurásicos y cretácicos franceses. Para el Jurásico Medio, podemos destacar el género *Trigonia* y las especies *Plagiostoma gallica*, *Plicatula spinosa*, *Gryphaea arcuata* y *Pseudopecten aequivalvis*. En el Jurásico Superior, *Mytilus imbricatus* y *Lopha gregaria*. En el Cretácico Inferior destaca *Inoceramus concentricus*. El grupo de los rudistas (bivalvos con que han alcanzado por convergencia una morfología cónica similar a la de los corales) está representado por *Vacinites cornu-vaciatum* en el Cretácico Superior. Otros bivalvos no rudistas del Cretácico Superior son *Rastellum frons* y *Spondylus truncatus*. Ya en el Cenozoico, podemos fijarnos en *Pecten jacobus* del Plioceno de Italia o en el género *Crassostrea* del Oligoceno.

La vitrina **235** está dedicada a dos subgrupos de la **Clase Cephalopoda**: las subclases **Endoceratoidea** y **Orthoceratoidea**. Los endocerátidos son cefalópodos de concha externa caracterizados por presentar depósitos minerales en las cámaras que conforman la concha. Aparecen en el Ordovícico Superior y se extinguen en el Silúrico. Se conocen formas con conchas de hasta 10 m de longitud. En el Ordovícico español destaca *Cameroceras alticamera* de Ciudad Real. Los ortocerátidos son cefalópodos de mucho menor tamaño y sin depósitos. Su aparición en el registro es anterior a la de los endocerátidos, puesto que se conocen desde el Cámbrico, y perduran durante más tiempo, ya que su último registro corresponde al Triásico. Fueron muy abundantes durante el Silúrico, destacando en esta colección las formas marroquíes y las de la República Checa.

En la vitrina **236** se estudian otros dos subgrupos de cefalópodos, las Subclases **Nautiloidea** y **Coleoidea**. Los nautiloideos son cefalópodos con un sifón en posición central (a diferencia de los ammonoideos, en los que el sifón ocupa una posición ventral). Aparecieron en el Ordovícico Medio y llegan hasta la actualidad representados por la especie *Nautilus pompilius* (se puede ver en esta vitrina una concha actual procedente del Océano Pacífico). En España es relativamente frecuente el género *Cenoceras* en el Jurásico Inferior. Los coleoideos son cefalópodos de concha interna que habitualmente reciben el nombre de belemnites. Destacan formas como *Hibolites astatus* del Jurásico Superior alemán, o *Passaloteuthis*, del Jurásico Inferior francés.

La subclase más conocida dentro de los cefalópodos fósiles es la subclase **Ammonoidea** (vitrinas **237** y **238**). Si los trilobites son los invertebrados más representativos y conocidos de la Era Paleozoica, los ammonites son su equivalente en el Mesozoico. Los primeros representantes de esta subclase se conocen desde el Devónico, y su extinción se produce a finales del Cretácico. Se caracterizan por presentar una concha enrollada de forma planoespiral. Fueron un grupo adaptado a una natación ágil y a veces rápida. Al igual que los trilobites, los ammonites permiten datar con precisión las rocas que los contienen, lo que en geología se denomina dataciones relativas. Podemos destacar a los siguientes representantes de este grupo: *Lituites* en el Ordovícico Medio de China; *Hammatoceras insignis*, *Dumortieria radians*, *Haugia variabilis* e *Hildoceras bifrons* en el Jurásico francés; *Scaphites equalis* y *Mantelliceras mantelli* también en el Cretácico francés. Especial mención para *Discoscaphites conradi* del Cretácico Superior de Dakota del Sur (EEUU), ejemplar que conserva parte de la concha nacarada. Por último, en esta vitrina también se incluye las placas fósiles que cierran la abertura de algunos ammoniteos y que reciben el nombre genérico de *Aptychus*. Es el caso de *Lamellaptychus imbricatus* del Jurásico Superior de Solnhofen (Alemania).

La vitrina **239** incluye dos fila con una representación más bien escasa en el registro fósil. Se trata del **Filo Hyolitha** y el **Filo Bryozoa**. Los hyolithes son organismos marinos con simetría bilateral y concha cónica. Se conocen desde el Cámbrico Inferior y son exclusivamente paleozoicos. En la colección destaca un ejemplar del Devónico Medio de Bolivia. Los briozoos son organismos coloniales acuáticos, muy abundantes en el Ordovícico, pero que se registran hasta la actualidad. Destaca *Fenestella retiformis* del Devónico Medio de Ciudad Real y *Fenestella bouchardi* de Colle (León). Del Carbonífero Inferior de Indiana (EEUU) destaca *Archemedes*, una pieza bastante espectacular por su morfología espiral.

En la vitrina **240** se muestra el último grupo de moluscos: la **Clase Gastropoda**. Los gasterópodos forman el grupo de moluscos más diversificado y el que presenta mayor número de especies actuales. Se han adaptado a casi todos los ecosistemas y se conocen desde el Cámbrico Inferior. Dentro de los gasterópodos de aguas dulces destaca el género *Planorbarius* del Mioceno de Albacete. La mayoría de las especies de gasterópodos que integran la colección de Paleontología Sistemática proceden de la cuenca de París. Por su variada morfología podemos destacar *Aporrhais palliolata* del Jurásico de Normandía, *Cerithium striatum*, *Conus deperditus* y *Natica microglossa* del Eoceno de Grignon, *Mesalia plebeia* del Mioceno de Bordeaux y *Strombus coronatus* del Plioceno de Almería.

En la vitrina **241** se estudia el **Filo Brachiopoda**, un grupo que aglutina a organismos marinos bentónicos que viven fijos al sustrato. Se encuentran fósiles desde el Cámbrico y son muy abundantes en el registro, sobre todo durante el Paleozoico. Tras la gran extinción pérmica desaparecieron numerosos grupos, aunque continuaron dominando el hábitat bentónico en muchas áreas durante el Mesozoico. A partir de este momento continuó el declive del grupo y en la actualidad quedan unos 40 géneros. Podemos destacar a *Douvillina dutertrei* del Devónico de Ciudad Real, *Pentamerus brevirostris*, *Cyrtospirifer disjunctus* y *Athyris sinerizi* del Devónico de León, *Composita subtilita* del Pérmico de Bolivia, *Stenocisma schlotheimi* del Pérmico de Turingia (Alemania) y *Coenothyris vulgaris* del Triásico francés. Los ejemplares mesozoicos de la colección son en su mayoría franceses: es el caso de *Lobidothyris perovalis*, *Tetrarhynchia tetrahedra* y *Zeilleria quadrifida* en el Jurásico, o de *Cyclothyris vespertillio* y *Cretirhynchia subplicata* en el Cretácico. En el Cenozoico destaca *Megerlia truncata* en el Plioceno gerundense y *Terebratula ampulla*, también del Plioceno pero de procedencia desconocida.

La vitrina **242** está dedicada al Filo Echinodermata, y más concretamente, a los subfilos **Asterozoa**, **Homalozoa** y **Echinozoa**. Los Asterozoos incluyen dos clases de equinodermos con morfología de estrella: los asteroideos y los ofiuroides. Tanto las estrellas de mar (asteroideos) como los ofiuroides se desplazan libremente sobre el fondo marino. A pesar de que los asteroideos no están muy bien representados en el registro fósil, podemos destacar en la colección un ejemplar del Ordovícico Superior de Marruecos. En relación a los ofiuroides, también se cuenta con *Ophiopetra* del Jurásico Superior de Hienheim (Alemania). Los homalozoos constituyen un grupo de equinodermos extinguido en el Devónico Medio. Son organismos muy polimorfos y no muy abundantes en el registro. Podemos destacar a *Decacystis hispanicus* del Cámbrico de León. Los equinozoos son equinodermos de cuerpo globoso. Dentro de este grupo se incluyen los equínidos (erizos de mar) cuyo cuerpo está constituido por un caparazón rígido constituido a su vez por placas en las que se insertan las espinas, también llamadas radiolas. El ejemplar más espectacular es, sin duda, *Archaeocidaris* del Carbonífero Superior de Texas (EEUU), uno de los primeros equínidos conocidos. Destaca *Heteraster oblongus* del Cretácico de Castellón, *Cidaris subvesiculosa* del Cretácico de Barcelona, *Tetragramma malbosii* del Cretácico de Teruel, *Echinocorys ovata* del Cretácico Superior francés, *Echinolampas affinis* del Eoceno de Francia y *Clypeaster* del Mioceno de Almería. Especial atención merecen las radiolas de los equínidos, tales como *Paracidaris florigemma* del Jurásico francés o *Cidaris meandrina*, del Jurásico de Camañas (Teruel).

La vitrina **243** también está dedicada al Filo Echinodermata, y más concretamente a las subfilos **Blastozoa** y **Crinozoa**. Los blastozoos se conocen desde el Ordovícico y su último registro corresponde al Pérmico Superior. En la colección destacan formas del Ordovícico de Fombuena (Zaragoza), como *Heliocrinites* y *Caryocrinites*. En relación a los crinozoos, se conocen desde el Ordovícico y llegan hasta nuestros días. El ejemplar mejor conservado de la colección es *Barycrinus asteriscus* del Carbonífero norteamericano. Por su excepcional grado de conservación destacan los crinozoos *Trybliocrinus flatheanus* hallados en el Devónico de Arnao (Asturias).

En la **vitrina 244** se muestra a un curioso grupo ya extinguido de organismos, los graptolitos. Este grupo constituye una clase de organismos marinos coloniales exclusivamente paleozoicos, de los cuales lo único que se conserva es su esqueleto colonial de naturaleza orgánica que se denomina rhabdosoma. Los graptolitos son excelentes fósiles guía para el Ordovícico y el Silúrico. En la colección destacan los graptolitos aislados químicamente y que se pueden observar en tres dimensiones, los conservados en glicerina procedentes de Polonia, las formas de *Retiolites* y *Cyrtograptus* de la República Checa y *Parapetalolithus* y *Oktavites* del Silúrico de Guadalajara.

La última vitrina es la **245**, y está dedicada a mostrar algunas de las formas de fosilización más frecuentes en la naturaleza. Por ejemplo, la formación de nódulos (el trilobites *Metacriphaeus venustus* del Ordovícico de Bolivia); la piritización interna y/o externa en equínidos, bivalvos y esponjas del Cretácico Superior de Olazagutía (Navarra), los espiriferidos y crinoideos del Devónico de Ohio (EEUU) o los ammonoideos jurásicos rusos cuya piritización es completa; la fosilización en jaspe, poco frecuente, representada por un coral del Silúrico de Utah (EEUU); la silicificación, como el caso del bivalvo de Dorset (Inglaterra) o la presencia de anillos de beekita sobre el caparazón de algunos equínidos del Cretácico español; la conservación en ópalo (belemnites del Cretácico australiano y ammonites y tronco fósil del Jurásico y Cretácico de Madagascar); la fosilización en ámbar (insectos conservados en esta resina fósil procedentes del Oligoceno ruso); fosilizaciones en yeso, como los corales y bivalvos del Plioceno de Almería; o los casos de conservación excepcional, como el del cangrejo del Eoceno de

Huesca o los gasterópodos miocenos y eocenos de Francia. Por último, se muestran algunos ejemplos de falsos fósiles, como es el caso de las dendritas de pirolusita, que son óxidos de manganeso cuya mineralización da como resultado morfologías similares a plantas, o las falsificaciones realizadas con intervención humana, como los nódulos trabajados imitando trilobites.

4.3 EXPOSICIÓN DE FÓSILES EXTRANJEROS (Vitrinas 213-223, 247-257)

Esta colección está integrada por cerca de 3.000 muestras de las que en la actualidad se exhiben aproximadamente un millar. Fue reunida en la segunda mitad del siglo XIX y primeros años del XX y su interés radica en estar constituida por ejemplares procedentes de algunos yacimientos clásicos o ya desaparecidos. Así pues, se trata de una colección de interés fundamentalmente histórico distribuida a lo largo de veintitrés vitrinas cuya ordenación responde a criterios cronoestratigráficos, de manera que la primera (213) corresponde al Cámbrico y en la última (257) se exponen ejemplares del Cuaternario. Se ubica en los pasillos de acceso al Museo.

La vitrina **213** corresponde al **Cámbrico**, destacando los trilobites de Bohemia (República Checa), la huella del Precámbrico de Ucrania, denominada *Nemiana* o el fósil *Chancelloria* de EEUU, que corresponde a un organismo de afinidades inciertas incluido en el grupo que genéricamente se denomina Problemática.

El **Ordovícico** (vitrina **214**) está representado por un trilobites de gran tamaño procedente de Portugal, así como por braquiópodos procedentes de Suecia y un equinodermo recogido en el antiguo Sáhara español.

Las vitrinas **215** y **216** corresponden al **Silúrico**, representado en este caso por una gran variedad y diversidad de corales, trilobites de la República Checa, un excelente ejemplar del crinoideo *Camarocrinus* procedente de Marruecos, así como los cefalópodos de Bohemia y los saharianos.

En el **Devónico** (vitrinas **217-220**) podemos destacar a *Devonochonetes*, un braquiópodo piritizado procedente de EEUU, o a *Atrypa*, otro braquiópodo en el que se puede observar la estructura interna y que procede del antiguo Sáhara español. También del Sáhara son los corales *Heliolites* y *Acervularia*, así como algunos cefalópodos y trilobites. Entre estos cabe destacar a *Dicranurus monstruosus* de la región de Alnif (Marruecos).

La vitrina **221** muestra ejemplos de plantas del **Carbonífero continental** de Francia, Alemania y el antiguo Sáhara español. Destaca *Annularia stellata* de Illinois (EEUU). El **Carbonífero marino** (vitrina **222**) está representado por fósiles abundantes entre los que destacan el pez *Helodus* de Irlanda, los bivalvos del Sáhara, los alemanes y los ingleses, y los braquiópodos franceses.

La vitrina **223** corresponde al **Pérmico**. Destacan los restos de escamas del pez *Palaeoniscus* de Francia y Alemania, así como *Xenacanthus* del Pérmico Inferior de Oklahoma (EEUU); entre las plantas, un ejemplar de *Glossopteris* de Mozambique; los braquiópodos están representados por *Horridonia*, del Turingiense de la localidad tipo en la que se define este piso, esto es, de Turingia (Alemania) y por *Neospirifer* de Chuquisaca (Bolivia); de esta misma localidad boliviana proceden el cefalópodo *Peripetoceras* y el gasterópodo *Omphalotrochus*.

La vitrina **246** corresponde al **Triásico** y está constituida por fósiles de muy diversos grupos: bivalvos, como *Myophoria* y *Pleuromya* del Triásico Medio de Francia; braquiópodos, como *Coenothyris* y *Spiriferina* de Alemania y Francia, respectivamente; restos de vertebrados, como un fragmento de un hueso de un saurio procedente del Triásico Medio de Alsacia (Francia); plantas, como *Equisetites* de Vosges (Francia); cefalópodos, tales como *Cerarites* de Salzburgo (Austria) o *Arcestes* de Alemania; y gasterópodos como *Omphaloptycha* del Triásico Medio de Polonia.

La vitrina **247** es la primera de las dedicadas al **Jurásico** y en ella se muestran artrópodos procedentes del yacimiento clásico de Solnhofen (Alemania), tales como *Eryon* y *Mecochirus*; corales, como *Montlivaultia* del Kimmeridgiense (Jurásico Superior) de Francia; anélidos, como *Serpulites* y *Lumbriconereites* de Hannover y Solnhofen (Alemania), respectivamente; equinodermos, como *Apiocrinus* de Baden (Alemania) y *Hemicidaris* de Francia; y peces, como *Leptolepis* del Oxfordiense (Jurásico Superior) de Solnhofen (Alemania) y *Sphaerodus* de Montpellier (Francia). En la vitrina **248** continuamos con material del **Jurásico**, esta vez con cefalópodos y braquiópodos. Entre los ammonioideos destaca *Parkinsonia* del Bajociense (Jurásico Medio) de Port-en-Bassin (Francia) y *Pseudolioceras* del Aalenense (Jurásico Medio) de Wütemberg (Alemania). Entre los braquiópodos destaca *Dispiriferina* del Pliensbachiense (Jurásico Inferior) de la localidad tipo en la que se define este piso, es decir, de Pliensbach (Alemania). La vitrina **249** es la última relacionada con el **Jurásico** y en ella se muestran bivalvos, tales como *Lima* de Port-en-Bassin (Francia), *Ostrea*, del Oxfordiense (Jurásico Superior) de Côte d'Or (Francia) y *Pholadomya* del Calloviense (Jurásico Medio) francés; y gasterópodos como *Ptygmatis* del Titónico (Jurásico Superior) de Tinwald (Nueva Zelanda) y *Anoptychia* y *Leptomaria* del Bajociense (Jurásico Medio) de Calvados (Francia).

El **Cretácico** comienza en la vitrina **250**, en la que se exponen varios grupos de organismos fósiles de esta edad. Por ejemplo, macroforaminíferos, como *Orbitolina* del Cenomaniense (Cretácico Superior) de Sarthe (Francia); crustáceos, como *Dromolithus* de Suecia; vertebrados como un diente del reptil *Mosasaurus* del Cretácico Inferior de Maastricht (Bélgica) y dos dientes de *Otodus* del Coniaciense-Santonense (Cretácico Superior) de Meudon (Francia). En la vitrina **251** se muestran corales cretácicos, tales como *Summiktaraea* del Turoniense (Cretácico Superior) de Ucahux (Francia). En la vitrina **252** se exponen gasterópodos, como *Rotularia* del Cretácico de la Antártida, *Harpagodes* del Albiense (Cretácico Inferior) de Folkstone (Gran Bretaña); equinodermos, tales como *Catopygus* del Coniaciense-Santonense (Cretácico Superior) de Maastricht (Bélgica) y *Micraster* del Senoniense (Cretácico Superior) de Meudon (Francia); braquiópodos como *Cretirhynchia* del Coniaciense-Campanense (Cretácico Superior) de Cognac (Francia), *Ancistrocrania* del Cretácico Superior de Meudon (Francia) y *Sellithyris* del Cretácico Inferior de Le Havre (Francia). La última vitrina del **Cretácico** es la **253**, correspondiente a bivalvos y cefalópodos. Entre los primeros destaca *Durania*, del Turoniense (Cretácico Superior) de Angoulême (Francia); *Spondylus* del Senoniense (Cretácico Superior) de Tours (Francia) y *Nucula* del Albiense (Cretácico Inferior) de Folkstone (Gran Bretaña). Entre los cefalópodos destaca *Hemiptyhoceras* del Albiense (Cretácico Inferior) de Sanoret (Francia); *Belemnitella* del Senoniense (Cretácico Superior) de Meudon (Francia), y *Scaphites* del Cenomaniense (Cretácico Superior) de Rouen (Francia).

Con la vitrina **254** se da paso al Paleógeno, y más concretamente al **Eoceno**. Podemos ver representantes de foraminíferos, como algunos *Nummulites* procedentes de las pirámides de Gizeh (Egipto), a los que los esclavos que las construyeron denominaron "lentejas"; equínidos, como *Scutellina* de Grignon (Francia); corales, como *Trochocyathus*

de Cuise (Francia) o *Sphoentrochus* de Grignon (Francia); y dientes de tiburón, como *Lamna* de Francia y de Inglaterra.

La vitrina **255** nos muestra ejemplares también paleógenos, pero esta vez del **Oligoceno**, es decir, algo más modernos. Entre los bivalvos, destaca *Glycymeris* y *Cardium* de Bourdeaux (Francia) y *Ostrea* de Pont le Voy (Francia); entre los foraminíferos, *Orbitolites* de St. Ginettinne (Francia); entre los gasterópodos, *Tympanotonos* de Étampes (Francia); entre los equínidos, *Scutella* de Bourdeaux (Francia); y entre los peces, *Smerdis* de Sicilia (Italia).

La vitrina **256** está constituida por gasterópodos del Neógeno, y más concretamente del **Mioceno**. Destaca *Tympanotonos* de Weinheim (Alemania), *Olivancollaria* y *Conus* de Saucats (Francia), *Ampullina* de Bordeaux (Francia), *Turbo* de Picmorst (Francia), *Fusinus* y *Neverita* de Pont le Voy (Francia).

La última vitrina de esta exposición es la **257**, que corresponde al **Plioceno-Cuaternario**. Destacan los bivalvos, tales como *Megacardita* del Plioceno de Gran Bretaña, *Sphaerium* del Plioceno de Francia, *Mytilus*, del Cuaternario de Italia y *Lopha* del Cuaternario de Filipinas. Entre los gasterópodos, destaca *Turritella* del Plioceno de Perpignan (Francia), *Astraea* del Plioceno de Parnes (Francia) y *Planorbis* del Plioceno de Drôme (Francia). Especial mención merecen los restos fósiles de dientes de *Ursus spelaeus* (oso de las cavernas) procedentes del Cuaternario de Isère y de Fanzan (Francia).

4.4 EXPOSICIÓN DE VERTEBRADOS FÓSILES (Vitrinas 83-98, 108-111)

Esta exposición está constituida por veinte vitrinas en las que el hilo conductor es una ordenación evolutiva desde los peces a los restos fósiles e industrias primitivas. Se ubica en la primera planta del Museo.

La **vitrina 83** es una vitrina de **Introducción** en la que se muestran las relaciones filogenéticas de los vertebrados (Peces, Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos) desde su origen en los cordados hasta la aparición de los homínidos. Se explica qué es un diente y qué es un hueso, mostrando el aspecto que presentan cuando se encuentran fósiles en los yacimientos. En esta vitrina se destacan representantes fósiles de algunas especies como *Palaeoniscus* del Pérmico de la República Checa, o *Knightia*, del Eoceno de Wyoming (EEUU). De igual modo, son reseñables dos piezas dentales de proboscídeos, una de *Tetralophon longirostris* del Mioceno de Valladolid y otra cuaternaria de *Elephas*.

La **vitrina 84** empieza con los **Peces**, superclase dentro de los cordados que agrupa a la mayoría de los vertebrados inferiores. Se divide en tres grandes grupos: los agnatos, que son vertebrados sin maxilar inferior; los elasmobranquios, que incluyen a algunos peces extinguidos con armadura, y a los peces cartilaginosos (tiburones y afines); y los osteictios o peces óseos. Dentro de los elasmobranquios destacan las rayas (género *Myliobatis*) del Mioceno de Niebla (Huelva), de Alcolea (Almería) y de Mallorca y Tarragona. Entre los tiburones, son frecuentes en el registro fósil las piezas dentales de *Carcharhinus*, *Carcharias*, *Odontaspis* y *Carcharodon*, fósiles característicos del Cenozoico de Barcelona, Tarragona y Málaga. También destaca *Isurus*, registrado en el Cretácico Inferior de Valdemorillo (Madrid).

La **vitrina 85** corresponde a la segunda parte de los **Peces**, es decir, a los osteictios o peces óseos. Es poco frecuente encontrar fósiles completos de peces óseos ya que sus

distintas partes se disgregan con facilidad. Sin embargo, es fácil hallar dientes, escamas o vértebras. Los osteictios se dividen en holósteos y teleósteos, siendo los primeros muy abundantes durante el Jurásico y el Cretácico, aunque en la actualidad están prácticamente extinguidos. Destacan los géneros *Microdon*, *Pycnodus*, *Lepidotes* y *Sphaerodus*, así como *Megalusus woodwardi* del Cretácico de Las Hoyas (Cuenca). Los teleósteos se conocen desde el Triásico y llegan a la actualidad. Destacan los géneros *Leptolepis*, *Anaethelion*, *Sparus*, *Leuciscus*, *Lebias* y *Sargus*. Son muy llamativos los ejemplares completos de *Rutilus pachecoi* del Mioceno de Los Aljezares (Teruel) y de *Dyplomistus dentatus* del Eoceno de Utah (EEUU). Del yacimiento cretácico de Rubies (Lleida), descubierto en 1902, destacan los restos de *Anaethalion vidali*.

La **vitrina 86** se inicia con los **anfibios**, que constituyen los tetrápodos más antiguos y primitivos. De ellos derivaron todos los demás vertebrados terrestres. Se dividen en tres grandes grupos: laberintodontos, que son anfibios primitivos (Devónico Superior-Triásico), representados por la réplica a escala real de *Seymouria* del Pérmico de Texas (EEUU), o la de *Iberospondylus*, correspondiente al anfibio más antiguo encontrado en la Península Ibérica y que procede del Carbonífero de Puertollano (Ciudad Real); lepospóndilos o anfibios de pequeño tamaño que habitaron medios continentales desde el Carbonífero al Pérmico Inferior; y los lisanfibios, que incluyen ranas, sapos y salamandras. Se conocen fósiles desde el Triásico y son muy abundantes en nuestros días. Destacan los fósiles de *Rana* procedentes del yacimiento mioceno de Libros (Teruel). Se trata de una antigua mina de lignito sulfuroso explotada a principios del siglo XX: los fósiles se encuentran en margas bituminosas sulfurosas que se depositaron durante el Mioceno en el fondo de una laguna. La ausencia de oxígeno permitió una excelente conservación de los restos orgánicos. También son destacables las salamandras del Mioceno de Rubielos de Mora (Teruel) y de Ribesalbes (Castellón).

La vitrina **87** muestra el esqueleto completo de *Ursus spelaeus* (oso de las cavernas).

La vitrina **88** está dedicada a los **reptiles mesozoicos**. En el Triásico destacan los Notosaurios y los Placodontos, que eran habitantes de costas y lagunas. Al primer grupo pertenece la réplica del *Lariosaurus* de Huesca, y al segundo, los dientes y vértebras de *Placochelys* de Jaén. Durante el Jurásico son muy frecuentes los ictiosaurios, reptiles marinos ovovivíparos. Destaca la réplica de un ejemplar procedente del Jurásico Inferior de Holzmaden (Alemania), en la que también se pueden observar impresiones de ammonoideos. También en el Jurásico destacan los reptiles voladores denominados Pterosaurios y que en el Museo están representados por dos réplicas de *Pterodactylus*, fósil procedente de Alemania.

Los reptiles fósiles más conocidos y divulgados son los dinosaurios, que se dividen en dos grandes grupos:

- Saurisquios, con pelvis similar a la de un reptil. Este grupo se subdivide en terópodos, que incluye a las formas bípedas y carnívoras de pequeño o gran tamaño, y a los saurópodos, que incluyen dinosaurios gigantes, cuadrúpedos y herbívoros. Destacan los restos de *Iguanodon* del Cretácico de Tremp (Lleida).
- Ornitisquios, con pelvis similar a la de las aves. Destacan los restos de un hipsilofodóntido del Cretácico de Soria.

Otras evidencias de la existencia de reptiles en el registro fósil son sus huellas, también llamadas icnitas. Destacan las procedentes del Triásico de Rillo de Gallo (Guadalajara) y la del Cretácico de Cornago (La Rioja).

La vitrina **89** se centra en las **aves**. Este grupo surgió a partir de algunos dinosaurios terópodos de pequeño tamaño similares a *Deinonychnus* y *Compsognatus*. A partir de *Archaeopteryx* (ver réplica del encontrado en el yacimiento de Solnhofen, Alemania, del

Jurásico Superior) las modificaciones que aparecen en el esqueleto de las aves están condicionadas por la necesidad de mejorar su vuelo. El descubrimiento de *Iberomesornis* (ver réplica) en el Cretácico de Las Hoyas (Cuenca) demostró que este fósil presentaba características dinosaurianas semejantes a las de *Archaeopteryx* y otras propias de las aves modernas.

Otras evidencias de aves en el registro son los huevos de *Anser* fosilizados procedentes del Mioceno de Palencia.

La vitrina **90** nos muestra a los **reptiles cenozoicos**, divididos en tres grupos:

- las tortugas, que forman un grupo característico completamente distinto al del resto de los reptiles. Son muy abundantes como fósiles, sobre todo en el Terciario, debido a la estructura de su caparazón. Destacan los géneros *Neochelys* y *Allaeochelys* del Eoceno de Sanzoles (Zamora) y *Paleochelys* y *Tryonyx* del Eoceno de Tárrega (Lleida).
- los lagartos, representados por un ejemplar completo del Mioceno de Libros (Teruel). El primer representante de este grupo data del Jurásico Superior de Alemania, aunque su presencia en el registro fósil es ocasional hasta el Terciario. A partir de este momento es frecuente encontrar ejemplares completos en rocas sedimentadas en lagos y cuevas.
- los cocodrilos, que forman un grupo biológico muy homogéneo y muy conservador desde el punto de vista evolutivo, con apenas variación en su estructura. Probablemente en estos animales tampoco ha variado mucho su anatomía interna, su fisiología ni su ecología desde el Jurásico. En la colección destaca *Hispanochamps* del Oligoceno de Tárrega (Lleida), que habitó en esta comarca hace aproximadamente 35 millones de años.

En la vitrina **91** se describen los principales **tipos de yacimientos de vertebrados**. Los fósiles de vertebrados aparecen tanto en sedimentos de origen marino como continentales. Aunque en los mares y océanos han habitado una mayor variedad y diversidad de vertebrados, las condiciones de fosilización para sus restos son más difíciles que en los medios continentales. Los fósiles más abundantes en medios continentales son los dientes y los huesos aislados, que aparecen dispersos en sedimentos, siendo poco frecuente el hallazgo de esqueletos completos que generalmente se encuentran en trampas naturales (simas, fisuras).

En esta vitrina podemos ver:

- fósiles procedentes de lagos. Por ejemplo, dientes de *Equus* encontrados en las zonas marginales de un pantano plioceno de Granada. Es frecuente encontrar fósiles de herbívoros que vivieron en las inmediaciones del pantano y que, o bien murieron al caer en aguas cenagosas, o bien lo hicieron en las proximidades del pantano, siendo entonces concentrados sus huesos por corrientes de agua. En pantanos más profundos es frecuente encontrar fósiles de anfibios con la impronta de los tejidos blandos (como en Libros, Teruel), y también peces.
- fósiles procedentes de ríos. Es frecuente encontrar fragmentos de cadáveres con los huesos en conexión anatómica, numerosos paladares, mandíbulas y metápodos completos, y pocos dientes aislados. Por ejemplo, los fragmentos de dientes de *Equus*, bóvidos e *Hippopotamus* del canal fluvial pleistoceno de Granada.
- fósiles en cuevas. Normalmente, se encuentran restos fósiles de animales que hibernaban en la cavidad, como anfibios (sapos), reptiles (tortugas y lagartos), murciélagos, insectívoros (erizos) y osos. Otros restos muy abundantes son fósiles de roedores y aves que son asimilados a los sedimentos de las cuevas procedentes de egagrópilas de aves rapaces. Las mayores concentraciones de aves en cuevas fueron producidas por carnívoros y homínidos. Unos y otros ocuparon habitualmente las cuevas durante periodos prolongados de tiempo, acumulando en su interior los huesos

de los animales que cazaban o que carroñeaban. Se muestran diversos restos de dientes, huesos y placas de *Equus*, *Megaloceras*, *Erinaceus* y *Testudo* de la Cueva Vistoria (Pleistoceno de Murcia).

De especial interés es el ejemplo de putrefacción que se muestra en esta vitrina: mediante una acumulación artificial de visones americanos actuales procedentes de un criadero, puede apreciarse cómo la descomposición de los tejidos blandos produce la generación de costras alrededor de los cadáveres y la cementación temprana del sedimento, con lo que quedan provisionalmente protegidos.

La vitrina **92** está dedicada a los **mamíferos**. Durante el Mesozoico, los mamíferos eran pequeños merodeadores nocturnos. Aparecieron en el registro fósil en el Triásico Superior, hace aproximadamente 210 millones de años, y su gran auge se debió al declive de los dinosaurios, que hasta entonces habían ocupado todos los nichos ecológicos. Su pequeño tamaño y peso les permitieron una menor especialización, así como una mayor adaptación a las condiciones cambiantes del pasado. El éxito evolutivo de los mamíferos consistió en la adquisición de sangre caliente, pelo, lactancia, verdadero oído medio, una única sustitución de los dientes, heterodoncia, así como la posibilidad de colonizar todos los nichos ecológicos tras la extinción de los dinosaurios a finales del Cretácico Superior.

En relación a la dentición, los mamíferos consiguieron dos avances importantes:

- los reptiles cambian los dientes a lo largo de toda la vida; los mamíferos lo hacen una sola vez;
- la morfología de los dientes se ha modificado en los mamíferos. Mientras que los reptiles tienen dientes cónicos con una sola cúspide y todos iguales (homodoncia), en los mamíferos los dientes tienen muchas cúspides y diferentes patrones estructurales dependiendo de la posición que ocupan en los maxilares y de la función que tienen en la alimentación (heterodoncia).

Otras especializaciones de los mamíferos son las relativas a la locomoción. La extremidad básica corresponde a los mamíferos generalistas, que hacen un poco de todo (agarrar, trepar, correr, saltar, sujetar,...), como los insectívoros, la mayoría de los carnívoros y el hombre. Otros mamíferos han especializado sus miembros en alguna aplicación concreta, modificando la forma de sus huesos y perdiendo algunos de ellos: el topo, para excavar, ha desarrollado huesos cortos y fuertes y una mano con robustas garras; el caballo, para correr, ha necesitado poseer huesos largos con fusión de la ulna al radio y sufrir pérdida de dedos; las focas, para nadar, han modificado los huesos de las extremidades obteniendo así amplias y aplanadas aletas; el murciélago, para volar, ha modificado sus miembros anteriores alargando las falanges.

Los mamíferos se dividen en varios órdenes:

- **ROEDORES**. Son organismos altamente especializados y diversificados que aparecen en el Paleoceno (hace 58 millones de años). Son esencialmente herbívoros caracterizados por poseer dos incisivos espatulados de crecimiento continuo en maxilar y mandíbula, con esmalte sólo en la cara anterior. Carecen de caninos y poseen un gran diastema (espacio libre de dientes) que separa al incisivo del último premolar o de los molares. Son animales plantígrados y de pequeño tamaño. Entre los ejemplares expuestos, destaca *Marmota* del Cuaternario de Almería y *Arvicola* (rata de agua) del Cuaternario de Segovia.
- **QUIRÓPTEROS**. Es un orden originado en el Eoceno y que engloba a los mamíferos voladores (murciélagos). Son animales muy primitivos en su sistema dentario, pero muy evolucionados en relación al aparato locomotor. Han modificado sus miembros anteriores con húmeros, radios y falanges extraordinariamente largos sobre los que se ancla en los dedos 2-5 el patagio (membrana dérmica que hace las funciones del ala de las aves). Destaca *Myotis* del Cuaternario de Villacastín (Segovia).

- LAGOMORFOS. Aparecen en el Eoceno Superior, hace aproximadamente 43 millones de años. Este orden incluye a los actuales conejos, liebres y pikas y es un orden distinto al de los roedores. Poseen cuatro incisivos en el maxilar, ausencia de caninos, amplio diastema y premolares y molares adaptados a la alimentación. Son animales plantígrados que presentan diversas adaptaciones: modificaciones para cavar, como el conejo, o para correr, como la liebre. Destaca el ejemplar completo de *Oryctolagus* del Pleistoceno Medio de Villacastín (Segovia).
- CETÁCEOS. Aparecen por primera vez hace unos 50 millones de años. Las ballenas y los delfines actuales son los representantes de los mamíferos que en el Eoceno medio volvieron al mar. Sus restos fósiles son poco abundantes. En esta vitrina se pueden destacar las vértebras caudales y torácicas de Balanidae del Mioceno de Hornachuelos (Córdoba).
- PERISODÁCTILOS. Ver vitrina 93.
- ARTIODÁCTILOS. Ver vitrinas 94 y 96. En esta vitrina destaca el neurocráneo de *Bison* procedente de Zagreb (Croacia).
- CARNÍVOROS. Ver vitrina 97.
- PROBOSCÍDEOS. Ver vitrina 98.

La vitrina **93** está dedicada a los **perisodáctilos**. Este orden agrupa a los mamíferos ungulados de dedos impares en los que el peso del cuerpo lo suele llevar el tercer dedo de cada miembro. Son animales exclusivamente herbívoros y sus molares están adaptados a una dieta de hierbas y hojas. Sus dientes poseen coronas altas (hipsodoncia) para suplir el intenso desgaste abrasivo producido por los vegetales de los que se alimentan. El orden agrupa a doce familias, en su mayoría conocidas a través de los fósiles, ya que sólo tres tienen representantes actuales: Rinocerótidos (rinocerontes), Équidos (caballos, cebras y asnos) y Tapíridos (Tapires). En esta vitrina se exponen fósiles de las dos primeras familias y otros de una familia extinguida en el Mioceno, los Calicotéridos. Entre los Rinocerótidos destacan los restos de *Alicornops* (hemimandíbula, metacarpiano y cuerno) del Mioceno de Nombrevilla (Zaragoza), y *Stephanorhinus* (astrágalo y piezas dentarias) del Mioceno de Villaroya (La Rioja). Los Équidos están representados en la actualidad por un único género, *Equus*, en el que se incluyen caballos, cebras y asnos actuales. Sin embargo, en el pasado esta familia alcanzó una diversidad mucho mayor. Las formas más primitivas se sitúan en el Eoceno (*Hyracotherium*), seguidas de *Anchitherium* en el Mioceno e *Hipparion* en el mioplioceno, para terminar en los caballos y cebras modernos (*Equus*). A lo largo de esta evolución se ha ido reduciendo el número de dedos de las patas. En la vitrina destaca *Anchitherium* (hemimandíbulas y astrágalos) del Mioceno de San Isidro (Madrid), *Hipparion* (hemimandíbula, maxilar, astrágalo, tibia, radio) del Mioceno de Conclud (Teruel), y metatarsianos y metacarpianos de *Equus* del Cuaternario de Abenojar (Ciudad Real). En cuanto a los Calicotéridos, poseían unas extremidades anteriores mucho más largas que las posteriores y terminadas en garras. Su aspecto era muy singular, en cierto modo como si se tratara de un cruce entre caballo y gorila, y su porte era gigantesco, el doble del de un caballo actual. Se desconoce la función de los miembros anteriores, pero podría estar relacionada con la excavación en busca de tubérculos o raíces o bien con la sujeción en los troncos de los árboles, en una actividad ramoneadora. Destacan los fósiles miocenos de *Ancylotherium* (astrágalo) de Fuentidueña (Segovia) y de *Chalicotherium* (molar) de Valencia.

Las vitrinas **94** y **96** están dedicadas a los **artiodáctilos**. Este orden agrupa a los mamíferos ungulados de dedos pares, dos o cuatro, situándose el eje de cada pata entre los dedos tercero y cuarto. Son un grupo muy diverso que integra a herbívoros con dientes selenodontos (cúspides con forma de media luna) u omnívoros bunodontos (dientes con cúspides redondeadas), con patrones dentales muy variados. Los

artiodáctilos incluyen nueve familias actuales y muchas más conocidas a través de los fósiles. En la **vitrina 94** se exponen restos de dos familias con representantes actuales, Cérvidos y Bóvidos. Los cérvidos incluyen en la actualidad ciervos, gamos, corzos y renos. Los cérvidos del pasado presentaban muchas diferencias en lo que a tamaño se refiere debido a la dependencia del clima. Así, hay formas enanas como *Micromeryx*, poco mayor que una liebre actual (ver hemimandíbula y maxilar del Mioceno de Barcelona); o *Megaloceros*, que habitó en la Península Ibérica desde hace 2 millones de años hasta hace 300.000, y que tenía unas defensas de unos 3 m de envergadura. Son destacables también las hemimandíbulas de *Criozetoceras* del Mioceno de Villarroya (La Rioja); molares de *Heteroprox* del Mioceno de Puente de Vallecas (Madrid); neurocráneo de *Cervus* del Cuaternario de la Cueva del Reguerillo (Madrid), y la hemimandíbula de *Cervus* del Mioceno de Villarroya (La Rioja). En relación a los bóvidos, en la actualidad están representados por muchos géneros: *Bos* (bueyes y toros), *Bison* (bisonte), *Capra* (cabra), *Rupicapra* (rebeco), *Gazella* (gacela)... En esta vitrina destacan las hemimandíbulas de *Bos* del Cuaternario de Cueva Mudá (Palencia); el cráneo completo de *Tragoportax* del Mioceno de Piera (Barcelona), y los maxilares y la hemimandíbula de *Gazellospira* del Mioceno de Villarroya (La Rioja).

La **vitrina 95** muestra un esqueleto completo de *Capra* procedente de la Cueva del Reguerillo (Madrid).

En la **vitrina 96** se exponen restos de suidos, jiráfidos, hipopotámidos y antracotéridos, es decir, las restantes familias de artiodáctilos. También se explica el caso de *Miotragus balearicus* (goral enano), un bóvido del Mioceno de la Isla de Mallorca. Su pequeño tamaño se debe a la evolución sufrida por esta línea de bóvidos en condiciones de aislamiento en la Isla de Mallorca a lo largo de 5 millones de años. Con la llegada del hombre y otros animales en el Neolítico (hace 5.000 años) esta especie se extinguió. En relación a los jiráfidos, son herbívoros rumiantes caracterizados por la gran elongación de sus cuellos. En la actualidad están restringidos a África, pero en el pasado su distribución geográfica fue mayor. Destacan las piezas dentales de *Decennatherium* del Mioceno de Nombreville (Zaragoza). Los hipopotámidos son los únicos artiodáctilos anfibios vivos. Destaca un molar inferior de *Hippopotamus* del Pleistoceno de Burgos. Los suidos (cerdos y jabalíes) están representados por los ejemplares de *Brachiodus* del yacimiento del Oligoceno de Tárrega (Lleida).

La vitrina **97** está dedicada a los **carnívoros**. Se originan en el Paleoceno Superior y se caracterizan por poseer un par de "muelas carniceras" debido al tipo de alimentación. Este grupo ha tenido un gran éxito, tanto en continentes como en mares y océanos, e incluye félidos, hiénidos, cánidos, osos, mapaches, mustélidos, focas... Los carnívoros marinos (focas, leones de mar...) se conocen desde el Mioceno Medio-Superior (10-15 millones de años) y tienen una dentición adecuada a su dieta piscívora. Podemos destacar a los úrsidos (osos, ver también la vitrina 87), representados por piezas dentales de *Ursus* del Cuaternario de la Cueva del Reguerillo (Madrid); félidos, entre los que destaca una réplica de *Panthera* del Pleistoceno de Atapuerca (Burgos), una mandíbula de *Felis* del Cuaternario de la Cueva del Reguerillo (Madrid) y una réplica de *Smilodon* del Pleistoceno del Rancho La Brea (California, EEUU); mustélidos, como un cráneo completo de *Meles* del Pleistoceno de Guadalajara; cánidos, como una hemimandíbula de *Canis* del Pleistoceno Superior de Almería o *Nyctereutes* del Mioceno de Villarroya (La Rioja); hiénidos, como una hemimandíbula de *Hyaena* del Mioceno de Villarroya (La Rioja), piezas dentales de *Crocota* del Cuaternario de Prádena (Segovia) o los coprolitos de hiénidos de Ateca (Zaragoza).

La vitrina **98** corresponde a los **proboscídeos**. Los primeros proboscídeos parecen haber tenido su origen en África durante el Eoceno. La innovación más extraordinaria de este grupo es la trompa, que les permite manejar el alimento con suma precisión y delicadeza. Se trata de una respuesta al problema que planteó la especialización de las patas delanteras en la marcha y en el soporte de un gran peso, con la adquisición de pezuñas (cinco dedos en cada pata) en lugar de garras y la consiguiente pérdida de capacidad de manipulación de las manos. Es importante aclarar que los mal llamados “colmillos” de los proboscídeos son en realidad incisivos (en los elefantes actuales se trata de los segundos incisivos superiores). Entre los proboscídeos podemos destacar: “deinoterios”, que son primos lejanos de los mastodontes y de los elefantes. Perdieron los “colmillos” superiores y conservaron el par inferior, cuya curvatura estaba dirigida hacia abajo. Desaparecen del registro en el Plioceno. Destacan los molares de *Deinotherium* del Mioceno de Barcelona y León; los mastodontes, actualmente extinguidos, entre los que destaca *Gomphotherium*, que es el mastodonte característico del Mioceno, con una mandíbula enormemente desarrollada. Destacan los molares de *Gomphotherium* del Mioceno de Córcoles (Guadalajara), la mandíbula de *Anancus* del Plioceno de Las Higuieruelas (Ciudad Real) y los molares de *Tetralophodon* del Mioceno de Mas del Olmo (Valencia). Por último, los mamuts y los elefantes propiamente dichos: destaca la vértebra dorsal de un *Mammuthus* del Cuaternario de Carrejete (Teruel).

En la vitrina **107** se dan algunas ideas acerca de la **Evolución Humana** (ver también en página 53 *Algunas consideraciones sobre la evolución humana*). Los Primates son mamíferos en su mayoría arborícolas que se caracterizan por: reducción del volumen de la cara a favor del neurocráneo, aumento del volumen y complejidad del cerebro con respecto a otros grupos de mamíferos, posición de las órbitas oculares en el plano frontal de la cara (lo que permite una visión estereoscópica); manos y pies con cinco dedos (carácter primitivo dentro de los mamíferos), con manos prensiles en todos los grupos y pies prensiles en la mayoría, con excepción de los társidos y de los homínidos; uñas planas en todos los dedos, a diferencia del resto de los mamíferos y mamas siempre en posición pectoral. Para poder entender los distintos fósiles de Primates expuestos en esta vitrina, así como sus relaciones, vamos a señalar las subdivisiones de este grupo:

- PLESIADAPIFORMES. Son los representantes más antiguos de los Primates.
- PROSIMIOS.
- ANTROPOIDEOS.
 - Platirrinos. Monos del Nuevo Mundo.
 - Catarrinos. Monos del Viejo Mundo.
 - Parapitecoideos.
 - Cercopitecoideos. Incluyen a los actuales cercopitecos, macacos y papiones.
 - Hominoideos.
 - Hilobátidos. Son los gibones en la actualidad
 - Pliopitécidos. Son los homínidos más antiguos, como *Aegyptopithecus*.
 - Póngidos, Pánidos y Homínidos. Incluyen a los gorilas, orangutanes, chimpancés y al hombre.

Todos los ejemplares que se muestran en esta vitrina y en la siguiente son réplicas. Destacan el cráneo y la mandíbula de *Aegyptopithecus* de Egipto; la mandíbula y el maxilar de *Oreopithecus bambolii* de Italia; las mandíbulas procedentes de China e India de *Gigantopithecus blacki*; el cráneo y la mandíbula de *Australopithecus africanus* de Sterkfontein (Suráfrica); el cráneo del “Niño de Taung”, que es un *Australopithecus africanus* descubierto en 1924; el cráneo de *Australopithecus robustus* procedente de Swartkraun, Suráfrica; el cráneo de *Australopithecus boisei* procedente de Olduvai

(Tanzania) o el cráneo de *Australopithecus aethiopicus* encontrado en el Lago Turkana (Kenia).

La vitrina **108** continúa con los aspectos relativos a la **Evolución Humana**, contemplando también cómo se produjo la llegada del hombre anatómicamente moderno a Europa. Destaca el cráneo de *Homo habilis* de Kenia; la calota y el fémur de *Homo erectus* de Trinil (Java, el llamado “Hombre de Java”); los cráneos de *Homo erectus* de China y Kenia; los cráneos de *Homo sapiens* “arcaico” de Zambia; el cráneo de *Homo sapiens sapiens* de Palestina de hace 90.000 años y el de China, más moderno (hace 20.000); la mandíbula de *Homo sapiens* “arcaico” de Heidelberg (Alemania) de hace 650.000 años y el cráneo de *Homo sapiens neanderthalensis* de La Chapelle aux Saints (Francia), con una edad comprendida entre los 70-35.000 años. El hombre anatómicamente moderno ya habitaba algunas regiones del planeta en la misma época en la que el hombre de neanderthal (*Homo sapiens neanderthalensis*) se expandía por Europa. La línea humana moderna (*Homo sapiens sapiens*) parece haber tenido su origen en África, encontrándose hace ya 100.000 años el hombre moderno en Oriente. 35.000 años antes de la actualidad coloniza Europa, reemplazando bruscamente al grupo neanderthal. Desde entonces ha experimentado un progreso exponencial en sus innovaciones culturales, tecnológicas y artísticas.

La vitrina **110** se centra en la **Evolución Humana en España**. En nuestro país hay diversos yacimientos que testimonian la presencia humana en la Península. Por ejemplo, en Granada (Barranco León-5 y Fuente Nueva-3), donde se han encontrado utensilios líticos que nos informan de manera indirecta acerca de la presencia humana en estas áreas. En Cueva Victoria (Murcia) existe un yacimiento de edad Pleistoceno Inferior en el que se ha encontrado una falange tercera de la mano atribuida a *Homo sp.* En el norte de España encontramos otro impresionante conjunto de yacimientos, los situados en la Sierra de Atapuerca (Burgos). En este complejo de cuevas se han localizado diversos yacimientos cuaternarios entre los que destacan dos: la Gran Dolina y la Sima de los Huesos. La Gran Dolina contiene diversos niveles estratigráficos, presentando la mayoría de ellos conjuntos de utensilios líticos del final del Pleistoceno Inferior o del Pleistoceno Medio. Hay un nivel especialmente significativo, el TD-6, en el que se han encontrado utensilios líticos junto a numerosos fósiles humanos muy fragmentarios de un morfotipo primitivo. La edad de este nivel ha sido estimada dentro del límite Pleistoceno Inferior-Medio, en torno a los 700.000 años de antigüedad. En esta vitrina se exponen réplicas de algunos de los fósiles humanos encontrados en el yacimiento de la Sima de los Huesos (Atapuerca, Burgos). Entre ellos destacan fragmentos de cráneo, de hemimandíbulas, de húmeros, falanges de manos y pies, etc.

En el Pleistoceno Medio se localizan en España algunos yacimientos con fósiles humanos. En la Cuenca del Congosto (Guadalajara) se ha encontrado un metápodo del pie; la Sima de los Huesos (Atapuerca, Burgos) contiene la mayor muestra mundial de fósiles humanos del Pleistoceno Medio, formada hasta el momento por más de 1300 fósiles que representan a todas las regiones del esqueleto; en Pinilla del Valle (Madrid) han aparecido dos dientes; en Gibraltar, un cráneo completo (ver réplica en la vitrina); y en el yacimiento de Cabezo Gordo (Murcia) un fragmento mandibular. Todos estos fósiles han sido determinados como *Homo sapiens ssp.*, especie predecesora de los verdaderos neanderthales de la primera mitad del Pleistoceno Superior.

La vitrina **111** es la última de este recorrido por el mundo de los vertebrados. Está dedicada a la **Prehistoria**, es decir, al periodo de la vida de la humanidad anterior a todo documento escrito y que sólo se conoce por evidencias indirectas como instrumentos en piedra y hueso, huesos humanos o de animales, construcciones, etc. En esta vitrina se muestran diversos utensilios producidos por la actividad humana durante el Paleolítico

(edad comprendida entre 2 m.a. y 10.000 años) y el Neolítico (4.000 a 2.000 a.C.). En el Paleolítico Inferior predomina la cultura Olduvaiense, caracterizada por formas de talla sencilla, como cantos rodados golpeados por una cara (chopper) o por dos caras opuestas y enfrentadas (cantos bifaciales). En el Paleolítico Medio, momento en el que Europa está ocupada por los *Homo sapiens* primitivos y los *Homo sapiens neanderthalensis* predomina la cultura Musteriense, con la proliferación de utensilios líticos como raspadores, perforadores o raederas. En el Paleolítico Superior aparecen en Europa, procedentes de África, los primeros *Homo sapiens sapiens*, es decir, los hombres anatómicamente modernos. Las culturas de esta época se caracterizan por un alto desarrollo tecnológico en la elaboración de la piedra, del hueso, del marfil y del cuerno, y se produce un gran avance cultural: el arte, tanto el parietal (dibujos y grabados en las paredes), como el moviliar (esculturas, bastones, etc., ver reproducciones de Venus y bastón de mando).

Durante el Neolítico el hombre comienza a fabricar objetos de cerámica al darse cuenta de que el barro endurecido con agua le permite conservar los alimentos (ver cuencos). También se pueden observar en la vitrina algunos utensilios relacionados con la Edad del Bronce (2.000 a 800 a.C.) y la Edad del Hierro (800 a.C. hasta el periodo romano).

4.5 YACIMIENTOS SINGULARES (Vitrinas 99-106)

Las vitrinas comprendidas entre la 99 y la 106 son monográficas y están dedicadas a yacimientos españoles singulares con excepción de la 99 que muestra diversos ejemplos de icnitas (huellas fósiles).

La vitrina **99** está dedicada a la **paleoicnología**, es decir, a las huellas fósiles de actividad orgánica que se han conservado en las rocas. Estas huellas pueden ser de muy diversos tipos y hay que tener en cuenta que un mismo organismo puede producir distintos tipos de huellas según sea la actividad que realice; que organismos diferentes pueden producir las mismas huellas al realizar una actividad similar; o bien que un organismo, comportándose de idéntica manera, puede originar trazas diferentes en dos sustratos de distinta consistencia. Podemos agrupar las huellas en: galerías de alimentación, que son conductos realizados por organismos que van buscando su alimento. Por ejemplo, *Chondrites* del Eoceno de Zumaya (Guipúzcoa) o *Zoophycos* del Eoceno de Hondón de los Frailes (Alicante); galerías de habitación, que son conductos en los que se alojan permanentemente ciertos invertebrados. Destaca *Ophiomorpha* del Holoceno de Argentina y *Skolithos* del Ordovícico de Zaragoza; pistas de reptación, que se deben a animales que se desplazan por el fondo del mar. Por ejemplo, *Cruziana* del Ordovícico de Ciudad Real o *Scolicia* del Eoceno de Zarautz (Guipúzcoa); huellas de reposo, que suelen reproducir la morfología ventral del organismo productor. Por ejemplo, *Rusophycus* del Ordovícico de Ciudad Real o *Lorenzina* del Eoceno de Zumaya (Guipúzcoa); pistas de alimentación, producidas por animales que exploran el fondo del mar en busca de alimentos. Por ejemplo, *Paleodyction* y *Helminthoida* del Eoceno de Zumaya (Guipúzcoa). También son destacables los coprolitos o heces fecales fósiles, en los que se observa la morfología del tracto intestinal del organismo productor. Por ejemplo, las de hiena del Mioceno de Ateca (Zaragoza).

En la vitrina **100** se exponen fósiles procedentes del **yacimiento de Las Hoyas**, situado en la serranía de Cuenca. Este yacimiento ha proporcionado la mayor información en nuestro país acerca del entorno biótico y abiótico de una comunidad de dinosaurios. Está constituido por calizas litográficas, rítmicamente laminadas, generadas en un lago de aguas dulces con influencia marina. La edad del yacimiento es Cretácico Inferior y en él se han encontrado peces como *Rubiesichthys*, plantas como *Weichselia*, crustáceos

como *Austropotamobius*, insectos como *Delclosia* y, lo más importante, aves que han proporcionado una valiosísima información sobre la temprana evolución de estos dinosaurios alados, que antes de su descubrimiento se desconocía. Estas aves son: *Iberomesornis* (ver réplica en la vitrina 89), *Concornis* y *Eoaululavis*. También se han encontrado dinosaurios como *Pelecanimimus*, cuyo cráneo completo es el primero hallado en España.

En la vitrina **101** se muestran fósiles (vegetales e insectos) de edad miocena procedentes del **Yacimiento de la Cerdaña** (Lleida). Estos fósiles fueron depositados en facies de abanicos aluviales y facies lacustres profundas. Durante el Mioceno, la actual comarca de La Cerdaña fue una región poblada por bosques, con un clima predominantemente templado. Entre las gimnospermas (plantas con sacos polínicos y óvulos) se han encontrado *Tsuga*, *Abetoidae* y *Cedrus*; entre las angiospermas (plantas con flores) destacan *Persea*, *Potamogeton*, *Laurophyllum*, *Myrica*, *Quercus*, *Acer*, *Zelkova*, y *Alnus*. Como ya se ha comentado anteriormente, en estos sedimentos también aparecenn insectos. Han podido ser identificados *Priocnemis* (avispa de agua), *Limonia* (mosca), *Phryganea* (avispa), Isopoda (cochinilla de la humedad) y Staphilininae? (escarabajo).

En la vitrina **102** se expone la **flora fósil del Carbonífero de la Cuenca Cantábrica**. El Carbonífero fue un momento de la historia de la Tierra caracterizado por una diversificación muy importante de las plantas superiores. La mayoría del material corresponde a los grandes depósitos marinos y continentales que constituyen los yacimientos de carbón más importantes de la cuenca central de Asturias. De Mieres proceden *Pecopteris*, *Sigillaria* y *Calamites*; de Barruelo de Santullán (Palencia), *Cyclopteris*, *Neuropteris* y *Mariopteris*; de la Magdalena (León), *Syrigodendron*, *Annularia* y *Alethopteris*; de Ciñera-Matallana (León), *Callipteridium* y *Halonja*; de Villablino (León), *Sphenophyllum*, *Odontopteris*, *Taeniopteris* y *Asterophyllites*.

La vitrina **103** está dedicada al **Yacimiento del Cerro de los Batallones**. Este afloramiento, localizado en el municipio de Torrejón de Velasco (Madrid) contiene un excepcional y único yacimiento de mamíferos fósiles miocenos. El Vallesiense (Mioceno Superior) es una época especialmente interesante en la Península Ibérica por los grandes cambios faunísticos y la intensa sedimentación de carácter continental. En este yacimiento se han encontrado restos muy abundantes de al menos doce especies de carnívoros miocenos, hallazgos poco frecuentes en el registro fósil. Destaca la reproducción del suelo de la excavación, la réplica de *Machairodus* (tigre con dientes de sable) y un fragmento de hemimandíbula del hiénido *Amphycyon*. También se han encontrado restos fragmentarios de aves, insectívoros, lagomorfos, roedores, proboscídeos, artiodáctilos y perisodáctilos.

La vitrina **104** está dedicada al **Yacimiento de Hellín (Albacete)**. Durante el Messiniense (Mioceno Superior) los lagos del área de Hellín fueron profundos, con estratificación de las aguas y alto contenido en nutrientes. Cuando un lago posee una alta concentración de nutrientes y una elevada productividad orgánica puede producirse una rápida acumulación de restos orgánicos en el fondo y una escasez de oxígeno en las capas bajas del agua del lago. En estos lagos también es frecuente que cierto volumen del agua del fondo se encuentre estabilizado (sin movimiento de aguas profundas) por una elevada densidad, generalmente debido a la existencia de partículas en suspensión. Esta zona profunda estable, sin movimiento, es anóxica y en ella el ambiente es reductor y, por tanto, favorable para la preservación de organismos. La matriz que engloba a estos restos es una diatomita, es decir, una roca sedimentaria laminada, originada en las zonas profundas de los lagos y formada por la acumulación de esqueletos silíceos microscópicos de algas diatomeas. Entre los ejemplares expuestos abundan los peces, tales como *Lepidopus* sp.,

Sardina crassa o *Spratelloides*. Cabe destacar el fósil en el que se aprecia la explosión del contenido estomacal debida a los gases generados durante el proceso de descomposición.

En la vitrina **105** se muestran fósiles procedentes del **Yacimiento de Villarroya (La Rioja)**. Se trata de la primera localidad de mamíferos pliocenos descubierta en España y fue dada a conocer en 1926. Es importante por la abundancia y estado de conservación de diversas especies fósiles en un periodo especialmente interesante en la evolución de los mamíferos. Entre los ejemplares expuestos destacan los équidos, representados por los maxilares de *Hipparion*; rinocerótidos, como el maxilar de *Stephanorhinus*; cánidos, como la hemimandíbula de *Nyctereutes*; félidos, representados por los caninos de *Megantereon*; hiénidos, como la hemimandíbula de *Hyaena*; bóvidos, como el cráneo, la hemimandíbula y el maxilar de *Leptobos*; cérvidos, como las hemimandíbulas y maxilares de *Criocetozeras* y proboscídeos, como el metacarpiano de *Anancus*.

La vitrina **106** está dedicada a los restos fósiles cuaternarios hallados en la **Cueva de los Torrejones (Guadalajara)**. Es destacable la presencia de restos humanos con caracteres anatómicos del grupo neanderthal. También se han encontrado restos de caballos, tortuga, zorros, corzos, rinocerontes, leopardos, jabalíes, lobos, hienas, conejos y erizos. Sobre algunos huesos se han detectado huellas de actividad humana: es el caso del caparazón de una tortuga y el cráneo de un leopardo. Esta manipulación humana, producida con industria lítica, dejó su huella en forma de estrías en estos huesos. Con posterioridad a estas señales se han observado otras producidas por las hienas. Es probable que tras la intervención humana un grupo de hienas accediera al cadáver del leopardo para alimentarse con sus despojos, dejando sobre algunos de los huesos estrías de descarnación.

5. VITRINAS TEMÁTICAS

5.1 ROCAS ORNAMENTALES Y GEMAS (Vitrina 79)

Las piedras preciosas o gemas se caracterizan por poseer una serie de atributos, tanto estéticos (color atractivo, transparencia, brillo, efectos ópticos característicos, etc.) como físicos (resistencia a la abrasión y a los ataques químicos). Las piedras opacas presentan en ocasiones colores muy vivos, como en el caso del azul en la turquesa y el lapislázuli o el rojo en los corales. Estos materiales se suelen tallar en cabujón, es decir, con una base plana y perfiles circulares u ovalados ya que las morfologías curvas favorecen el color y realzan el brillo. Se pueden observar distintas variedades de ópalo (de fuego, blanco, negro, verde, de agua, de miel, común), cuarzo (ágata, calcedonia, jaspe rojo), lapislázuli, turquesa, vidrio sintético, xilópalo, coral, marfil y cinabrio.

Además de las piedras naturales, también se utilizan con fines ornamentales otro tipo de materiales, unas veces sintéticos (como los vidrios de imitación) y otras veces reconstituidos, es decir, formados a partir del polvo de la piedra natural.

En cuanto a las gemas, la transparencia constituye uno de sus grandes atractivos puesto que genera una cierta sensación de profundidad que permite la observación de las inclusiones que aparecen en su interior. En ocasiones, la luz interfiere con la piedra de tal modo que puede generar juegos de colores, como el “fuego” en el diamante.

Para extraer el máximo rendimiento a la belleza potencial de una piedra transparente es necesario facetarla, es decir, tallarla generando superficies planas con formas geométricas determinadas. Las tallas facetadas han sufrido una gran evolución desde las más antiguas (como la talla en tabla o en rosa) hasta las modernas tallas en escalera o en brillante. Entre las gemas expuestas en esta vitrina, pueden observarse diamante, rubí, zafiro, esmeralda, cuarzo (rosa, ahumado, amatista, cristal de roca, turmalinado, rutilado, ágata, bicolor), ámbar, esfalerita, topacio, granate y olivino.

5.2 EL ÁMBAR (Vitrina 80)

El ámbar es una resina endurecida por el tiempo y los procesos geológicos que procede de algunos tipos de coníferas. Su composición consta de una mezcla compleja de varias resinas, ácido succínico y un aceite volátil. Puede ser transparente o translúcido, en bruto posee un brillo grasiento y su color habitual es el amarillo. Es un material de origen orgánico y posee unas características físico-químicas especiales, pero de entre todas sus peculiaridades destaca su potencial contenido en inclusiones biológicas. El ámbar con inclusiones constituye una auténtica ventana al pasado, siendo fuente de información de primera mano sobre las faunas de invertebrados y las floras de los medios continentales que desde el Cretácico hasta el Plioceno se han desarrollado en extensas regiones del planeta.

El ámbar más antiguo se ha encontrado en rocas del Cretácico Inferior, entre cuyos yacimientos destaca el de Peñacerrada (Álava). Fuera de España son muy famosos los yacimientos del Paleógeno Superior del Báltico y los de Paleógeno Medio-Neógeno Medio de la República Dominicana.

El ámbar contiene restos fósiles de un amplio y variado número de especies animales y vegetales. Entre los animales son frecuentes los ejemplares completos de insectos y

arácnidos, mientras que los vegetales son identificados a través de esporas y sacos polínicos.

Escarabajos, moscas, mosquitos, avispas, termitas y arañas aparecen en el ámbar en forma de moldes externos de sus exoesqueletos, que habitualmente se encuentran asociados a burbujas de gases. Es frecuente la conservación en la mayoría de los casos del último movimiento realizado en vida por el animal.

5.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES (Vitrina 81)

En esta vitrina se explican con ejemplos prácticos las propiedades físicas (brillo, dureza, raya, exfoliación, hábito, luminiscencia, fractura y magnetismo) de los minerales. Un mineral es un sólido homogéneo de origen natural, formado normalmente por un proceso inorgánico, con una composición química definida (dentro de ciertos límites) y una disposición atómica ordenada. Esta definición de mineral presenta ciertas limitaciones, ya que el mercurio nativo es líquido y es un mineral.

En cuanto a las propiedades físicas, el **brillo** es el aspecto que presenta la superficie de un mineral cuando refleja la luz. El brillo depende de la naturaleza de la superficie del mineral y de la absorción de la luz. Se dan dos tipos fundamentales de minerales: los de brillo metálico y los de brillo no metálico. Un mineral posee brillo metálico cuando tiene el aspecto brillante de un metal. Los minerales con brillo metálico son opacos a la luz y tienen la raya negra o muy oscura. Los minerales con brillo no metálico suelen ser de colores claros y transmiten la luz al menos en secciones delgadas. Los distintos tipos de brillo están representados por: ópalo (resinoso), crisotilo (sedoso), galena (metálico), yeso (nacarado), cuarzo rosa (vítreo) y anglesita (adamantino).

La **raya** es el color que presenta el mineral finamente pulverizado. Se puede obtener triturando, limando o raspando el mineral, o bien trazando una raya con él sobre una superficie blanca de porcelana sin vidriar (la porcelana tiene una dureza aproximada de 7, por lo que no puede emplearse con minerales de dureza superior). El color de la raya no tiene por qué coincidir con el color del mineral. Al ser una propiedad característica y muy constante para muchos minerales, posee un alto valor determinativo. Casi todos los minerales transparentes o translúcidos tienen la raya blanca; los oscuros de brillo no metálico la suelen producir más clara, mientras que los de brillo metálico suelen originarla de un color más intenso que el del mineral. Ejemplos de esta propiedad pueden verse con calcopirita, goethita y hematites.

El **hábito** son las diferentes formas que puede adoptar un cristal en relación con su estructura interna. Por tanto, al aspecto general de los cristales se le denomina hábito y constituye un elemento muy útil en el reconocimiento de los minerales, a pesar de que un mismo mineral puede presentar distintos hábitos dependiendo del yacimiento del que proceda. Aunque los cristales pueden desarrollarse individualmente, el hecho más frecuente es que crezcan juntos y aparezcan agrupados en lo que se denomina agregados cristalinos. Pueden verse en la vitrina algunos de los tipos más frecuentes de hábito, como el dendrítico del cobre nativo, el fibroso del crisotilo, el foliado de la moscovita o el acicular de la estibina.

La **luminiscencia** es cualquier emisión de luz de un mineral que no sea resultado directo de la incandescencia del mismo. Los minerales que se hacen luminiscentes al ser expuestos a una radiación con una determinada longitud de onda (rayos ultravioletas, rayos x, rayos catódicos, flash fotográfico, etc.) se denominan fluorescentes. Si la

luminiscencia perdura después de haber cesado la fuente de excitación, se dice que el mineral es fosforescente. En esta vitrina se pueden observar minerales fluorescentes por efecto de rayos ultravioletas. Para ello, basta con pulsar el interruptor situado a la derecha de la vitrina y observar la fluorita, autunita, ópalo, villemita y cuarzo.

El **magnetismo** es la propiedad que tienen algunos minerales de ser atraídos por un imán. Los minerales que poseen esta propiedad se denominan ferromagnéticos. Hay muy pocos: los más conocidos son la magnetita y la pirrotita. Algunos ejemplares son de por sí imanes naturales capaces de orientarse y atraer limaduras de hierro. Estos minerales fueron los primeros materiales utilizados en la fabricación de brújulas.

La **fractura** es la morfología que presentan los minerales tras romperse a lo largo de una superficie irregular denominada superficie de fractura. En la vitrina podemos ver la fractura concoidea del sílex y la ganchuda de la plata nativa.

La **exfoliación** es la tendencia que tiene un mineral a romperse en direcciones bien definidas siempre paralelas a caras posibles de un cristal. Es una propiedad que permite la identificación de los sistemas cristalográficos a simple vista, ya que los planos de exfoliación son paralelos a las direcciones cristalográficas. La exfoliación no la presentan todos los minerales y sólo unos pocos la poseen de forma muy acusada. Se muestran dos ejemplos de exfoliación en calcita y yeso.

La **dureza** es la resistencia de un mineral a ser rayado. Para su determinación se utiliza una escala empírica ideada por Möhs en 1822. Se basa en que cada mineral raya al anterior y es rayado por el siguiente, aunque no se mantiene un intervalo regular de dureza entre un término y otro. El talco y el yeso se rayan con la uña, la calcita, fluorita y apatito se rayan con la navaja y ortosa, cuarzo, topacio, corindón y diamante rayan el vidrio. En esta vitrina se muestran los diez minerales que constituyen la escala de Möhs.

5.4 SISTEMAS CRISTALOGRAFICOS (Vitrina 82)

Los cristales son masas de minerales con forma geométrica definida como consecuencia del ordenamiento interno de los átomos. Se agrupan en siete sistemas establecidos en función de su simetría. En la naturaleza los cristales no suelen presentar formas perfectas. Los factores que determinan su crecimiento (presión, temperatura, aporte de materia) provocan deformaciones o impiden su desarrollo completo.

En esta vitrina se exhibe una selección de cristales naturales característicos de los distintos sistemas cristalinos. Del sistema triclínico están representados un cristal de axinita y otro de microclina; del monoclínico, un cristal de augita, un yeso en punta de flecha y una macla de Carlsbad de ortoclasa; del trigonal, una turmalina, un romboedro y un prisma de cuarzo y un escalenoedro y un romboedro de calcita; del sistema tetragonal, una bipirámide tetragonal de scheelita y otra de vesuvianita, una macla en “codo” de rutilo y una macla en “pico de estaño” de casiterita; del cúbico, un cubo y un pentagonododecaedro de pirita, un rombododecaedro de granate, un trapezoedro de leucita y un octaedro de galena; del hexagonal, una pirámide hexagonal de apatito y dos prismas hexagonales, uno de berilo y otro de molibdenita; por último, del sistema ortorrómbico, tres prismas rómbicos de andalucita, topacio y barita, una macla pseudohexagonal de aragonito y prismas y pinacoides de estauroлита.

5. VITRINAS TEMÁTICAS

5.1 ROCAS ORNAMENTALES Y GEMAS (Vitrina 79)

Las piedras preciosas o gemas se caracterizan por poseer una serie de atributos, tanto estéticos (color atractivo, transparencia, brillo, efectos ópticos característicos, etc.) como físicos (resistencia a la abrasión y a los ataques químicos). Las piedras opacas presentan en ocasiones colores muy vivos, como en el caso del azul en la turquesa y el lapislázuli o el rojo en los corales. Estos materiales se suelen tallar en cabujón, es decir, con una base plana y perfiles circulares u ovalados ya que las morfologías curvas favorecen el color y realzan el brillo. Se pueden observar distintas variedades de ópalo (de fuego, blanco, negro, verde, de agua, de miel, común), cuarzo (ágata, calcedonia, jaspe rojo), lapislázuli, turquesa, vidrio sintético, xilópalo, coral, marfil y cinabrio.

Además de las piedras naturales, también se utilizan con fines ornamentales otro tipo de materiales, unas veces sintéticos (como los vidrios de imitación) y otras veces reconstituidos, es decir, formados a partir del polvo de la piedra natural.

En cuanto a las gemas, la transparencia constituye uno de sus grandes atractivos puesto que genera una cierta sensación de profundidad que permite la observación de las inclusiones que aparecen en su interior. En ocasiones, la luz interfiere con la piedra de tal modo que puede generar juegos de colores, como el “fuego” en el diamante.

Para extraer el máximo rendimiento a la belleza potencial de una piedra transparente es necesario facetarla, es decir, tallarla generando superficies planas con formas geométricas determinadas. Las tallas facetadas han sufrido una gran evolución desde las más antiguas (como la talla en tabla o en rosa) hasta las modernas tallas en escalera o en brillante. Entre las gemas expuestas en esta vitrina, pueden observarse diamante, rubí, zafiro, esmeralda, cuarzo (rosa, ahumado, amatista, cristal de roca, turmalinado, rutilado, ágata, bicolor), ámbar, esfalerita, topacio, granate y olivino.

5.2 EL ÁMBAR (Vitrina 80)

El ámbar es una resina endurecida por el tiempo y los procesos geológicos que procede de algunos tipos de coníferas. Su composición consta de una mezcla compleja de varias resinas, ácido succínico y un aceite volátil. Puede ser transparente o translúcido, en bruto posee un brillo grasiento y su color habitual es el amarillo. Es un material de origen orgánico y posee unas características físico-químicas especiales, pero de entre todas sus peculiaridades destaca su potencial contenido en inclusiones biológicas. El ámbar con inclusiones constituye una auténtica ventana al pasado, siendo fuente de información de primera mano sobre las faunas de invertebrados y las floras de los medios continentales que desde el Cretácico hasta el Plioceno se han desarrollado en extensas regiones del planeta.

El ámbar más antiguo se ha encontrado en rocas del Cretácico Inferior, entre cuyos yacimientos destaca el de Peñacerrada (Álava). Fuera de España son muy famosos los yacimientos del Paleógeno Superior del Báltico y los de Paleógeno Medio-Neógeno Medio de la República Dominicana.

El ámbar contiene restos fósiles de un amplio y variado número de especies animales y vegetales. Entre los animales son frecuentes los ejemplares completos de insectos y

arácnidos, mientras que los vegetales son identificados a través de esporas y sacos polínicos.

Escarabajos, moscas, mosquitos, avispas, termitas y arañas aparecen en el ámbar en forma de moldes externos de sus exoesqueletos, que habitualmente se encuentran asociados a burbujas de gases. Es frecuente la conservación en la mayoría de los casos del último movimiento realizado en vida por el animal.

5.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES (Vitrina 81)

En esta vitrina se explican con ejemplos prácticos las propiedades físicas (brillo, dureza, raya, exfoliación, hábito, luminiscencia, fractura y magnetismo) de los minerales. Un mineral es un sólido homogéneo de origen natural, formado normalmente por un proceso inorgánico, con una composición química definida (dentro de ciertos límites) y una disposición atómica ordenada. Esta definición de mineral presenta ciertas limitaciones, ya que el mercurio nativo es líquido y es un mineral.

En cuanto a las propiedades físicas, el **brillo** es el aspecto que presenta la superficie de un mineral cuando refleja la luz. El brillo depende de la naturaleza de la superficie del mineral y de la absorción de la luz. Se dan dos tipos fundamentales de minerales: los de brillo metálico y los de brillo no metálico. Un mineral posee brillo metálico cuando tiene el aspecto brillante de un metal. Los minerales con brillo metálico son opacos a la luz y tienen la raya negra o muy oscura. Los minerales con brillo no metálico suelen ser de colores claros y transmiten la luz al menos en secciones delgadas. Los distintos tipos de brillo están representados por: ópalo (resinoso), crisotilo (sedoso), galena (metálico), yeso (nacarado), cuarzo rosa (vítreo) y anglesita (adamantino).

La **raya** es el color que presenta el mineral finamente pulverizado. Se puede obtener triturando, limando o raspando el mineral, o bien trazando una raya con él sobre una superficie blanca de porcelana sin vidriar (la porcelana tiene una dureza aproximada de 7, por lo que no puede emplearse con minerales de dureza superior). El color de la raya no tiene por qué coincidir con el color del mineral. Al ser una propiedad característica y muy constante para muchos minerales, posee un alto valor determinativo. Casi todos los minerales transparentes o translúcidos tienen la raya blanca; los oscuros de brillo no metálico la suelen producir más clara, mientras que los de brillo metálico suelen originarla de un color más intenso que el del mineral. Ejemplos de esta propiedad pueden verse con calcopirita, goethita y hematites.

El **hábito** son las diferentes formas que puede adoptar un cristal en relación con su estructura interna. Por tanto, al aspecto general de los cristales se le denomina hábito y constituye un elemento muy útil en el reconocimiento de los minerales, a pesar de que un mismo mineral puede presentar distintos hábitos dependiendo del yacimiento del que proceda. Aunque los cristales pueden desarrollarse individualmente, el hecho más frecuente es que crezcan juntos y aparezcan agrupados en lo que se denomina agregados cristalinos. Pueden verse en la vitrina algunos de los tipos más frecuentes de hábito, como el dendrítico del cobre nativo, el fibroso del crisotilo, el foliado de la moscovita o el acicular de la estibina.

La **luminiscencia** es cualquier emisión de luz de un mineral que no sea resultado directo de la incandescencia del mismo. Los minerales que se hacen luminiscentes al ser expuestos a una radiación con una determinada longitud de onda (rayos ultravioletas, rayos x, rayos catódicos, flash fotográfico, etc.) se denominan fluorescentes. Si la

luminiscencia perdura después de haber cesado la fuente de excitación, se dice que el mineral es fosforescente. En esta vitrina se pueden observar minerales fluorescentes por efecto de rayos ultravioletas. Para ello, basta con pulsar el interruptor situado a la derecha de la vitrina y observar la fluorita, autunita, ópalo, villemita y cuarzo.

El **magnetismo** es la propiedad que tienen algunos minerales de ser atraídos por un imán. Los minerales que poseen esta propiedad se denominan ferromagnéticos. Hay muy pocos: los más conocidos son la magnetita y la pirrotita. Algunos ejemplares son de por sí imanes naturales capaces de orientarse y atraer limaduras de hierro. Estos minerales fueron los primeros materiales utilizados en la fabricación de brújulas.

La **fractura** es la morfología que presentan los minerales tras romperse a lo largo de una superficie irregular denominada superficie de fractura. En la vitrina podemos ver la fractura concoidea del sílex y la ganchuda de la plata nativa.

La **exfoliación** es la tendencia que tiene un mineral a romperse en direcciones bien definidas siempre paralelas a caras posibles de un cristal. Es una propiedad que permite la identificación de los sistemas cristalográficos a simple vista, ya que los planos de exfoliación son paralelos a las direcciones cristalográficas. La exfoliación no la presentan todos los minerales y sólo unos pocos la poseen de forma muy acusada. Se muestran dos ejemplos de exfoliación en calcita y yeso.

La **dureza** es la resistencia de un mineral a ser rayado. Para su determinación se utiliza una escala empírica ideada por Möhs en 1822. Se basa en que cada mineral raya al anterior y es rayado por el siguiente, aunque no se mantiene un intervalo regular de dureza entre un término y otro. El talco y el yeso se rayan con la uña, la calcita, fluorita y apatito se rayan con la navaja y ortosa, cuarzo, topacio, corindón y diamante rayan el vidrio. En esta vitrina se muestran los diez minerales que constituyen la escala de Möhs.

5.4 SISTEMAS CRISTALOGRAFICOS (Vitrina 82)

Los cristales son masas de minerales con forma geométrica definida como consecuencia del ordenamiento interno de los átomos. Se agrupan en siete sistemas establecidos en función de su simetría. En la naturaleza los cristales no suelen presentar formas perfectas. Los factores que determinan su crecimiento (presión, temperatura, aporte de materia) provocan deformaciones o impiden su desarrollo completo.

En esta vitrina se exhibe una selección de cristales naturales característicos de los distintos sistemas cristalinos. Del sistema triclínico están representados un cristal de axinita y otro de microclina; del monoclinico, un cristal de augita, un yeso en punta de flecha y una macla de Carlsbad de ortoclasa; del trigonal, una turmalina, un romboedro y un prisma de cuarzo y un escalenoedro y un romboedro de calcita; del sistema tetragonal, una bipirámide tetragonal de scheelita y otra de vesuvianita, una macla en “codo” de rutilo y una macla en “pico de estaño” de casiterita; del cúbico, un cubo y un pentagonododecaedro de pirita, un rombododecaedro de granate, un trapezoedro de leucita y un octaedro de galena; del hexagonal, una pirámide hexagonal de apatito y dos prismas hexagonales, uno de berilo y otro de molibdenita; por último, del sistema ortorrómbico, tres prismas rómbicos de andalucita, topacio y barita, una macla pseudo-hexagonal de aragonito y prismas y pinacoides de estauroлита.

6. TEMAS COMPLEMENTARIOS

6.1 ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN HUMANA

¿QUÉ ES LA EVOLUCIÓN?

El que la vida ha cambiado a través del tiempo es un hecho indiscutible. No hay explicación posible para la secuencia y variedad de formas de vida preservadas como fósiles. Sólo la evolución puede explicar las relaciones entre las especies vivientes. Toda la vida está interrelacionada en un modelo que se remonta a las primeras formas de vida que aparecieron en la Tierra hace casi 4.000 millones de años. Charles Darwin vio un camino por el que pudo haber maniobrado la evolución, pero no fue el primero en reconocer que la vida había cambiado y estaba aún cambiando. En 1859 publicó *Sobre el origen de las especies mediante métodos de selección natural*: este libro ordenaba todas las evidencias de la evolución y proporcionó un principio estructural que podía explicar el cambio a largo plazo. De esta manera, la selección natural se basaba en una serie de proposiciones simples:

- Los organismos producen generalmente más descendencia de la que puede sobrevivir y reproducirse.
- Los descendientes que sobreviven tienden a ser los más fuertes.
- Los caracteres de los padres aparecen en sus hijos.
- Generación tras generación, a través de cientos de miles de periodos, las líneas más fuertes sobrevivirán al traspasar los rasgos que las han hecho fuertes.

Darwin vio la evolución como una serie de transformaciones graduales, generalmente demasiado lentas para ser observadas en el tiempo presente. Además, la preservación de fósiles es un hecho demasiado fortuito, de manera que ninguna especie viva tiene un pasado que pueda ser lo suficientemente bien detallado con fósiles que ilustren su paso a través del espacio y del tiempo.

La paleontología ha encontrado caminos para exprimir la información de los fósiles que se han conservado en el registro y encontrando más modelos dentro y fuera del pensamiento de Darwin. Desde 1970 han surgido algunos modelos evolutivos basados en fósiles y en evidencias vivas.

Una aproximación ha consistido en examinar la forma en la que la vida se ha diversificado. Si el conjunto de nuestro mundo vivo creció desde un simple ancestro hace unos 4.000 millones de años, ¿cómo se diversificó ese antepasado en nuestras decenas de millones de especies, por no mencionar los centenares de millones más que han muerto a lo largo del camino? Ahora nos parece claro que la pauta de evolución ha sido episódica. Las largas fases de pequeños cambios en el conjunto de la diversidad mundial se han alternado con estallidos de crecimiento exuberante o repentinas pérdidas. Los *booms* pueden relacionarse con la conquista de nuevos hábitats más ricos o más seguros (el traslado a la tierra, o a los árboles, o al aire, o a madrigueras más profundas) y con la aparición de una nueva serie de adaptaciones: la habilidad de metabolizar oxígeno, volar, el desarrollo de esqueletos duros o la sangre caliente.

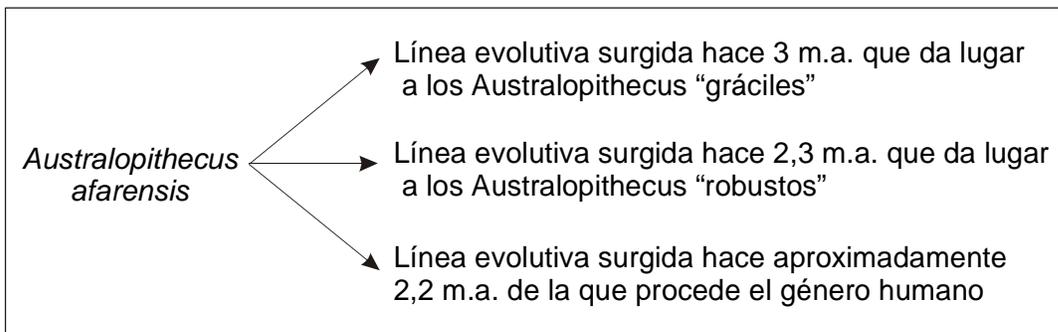
¿Cuáles son los principales factores que instigan los cambios en la evolución? ¿Es la competencia con otras plantas o animales o son los cambios en el entorno físico? Si se fuerza la selección natural darwiniana en forma radical, ¿significa eso que sólo los perfectamente adaptados sobreviven? ¿O son la mayor parte de los organismos más

un novedoso modo de locomoción: el bipedismo en los australopitecos y en el hombre. Así, la adquisición de la postura erguida parece ser el motor de la hominización.

Este cambio en el modo de locomoción se debió a las variaciones ambientales producidas en África a finales del Mocoeno, hace más de 6 millones de años. Los hábitats forestales y selváticos sufrieron una regresión espacial y grandes superficies del territorio oriental africano se transformaron en sabanas y praderas, nuevos biotopos para ser colonizados por los homínidos. Para ello fue necesario un cambio en su anatomía, con modificaciones en la cadera y miembros posteriores.

Los primeros representantes conocidos de la familia humana son los *Australopithecus*. El más antiguo es *A. afarensis*, un homínido bípedo africano encontrado en Tanzania y en Etiopía y que tiene una antigüedad entre 3,8 y 3 millones de años. La posición erguida permitió a estos animales ejercer un mayor control visual del terreno, así como la liberación de las manos, que pierden sus funciones de sostén y de apoyo.

Se supone que a partir de esta especie se originaron tres líneas evolutivas:



Los australopitecos "robustos" son considerados como una línea evolutiva independiente que desciende de *A. afarensis* a través de una forma intermedia, *A. eathiopticus*. Este grupo comprende dos especies africanas con áreas de distribución separadas: los *A. robustus*, encontrados en cuevas surafricanas, exclusivamente, y los *A. boisei*, homínidos muy similares a los anteriores y restringidos al África oriental.

El hallazgo de *A. robustus* en el interior de las cuevas no indica necesariamente que estos homínidos habitaran en ellas. El estudio de estos yacimientos ha permitido saber que sus huesos fueron introducidos en las cavidades por los grandes felinos de esta época. Parece ser que los *Australopithecus* eran, junto con los papiones, parte importante de la dieta de los leopardos primitivos. Estos homínidos se desarrollaron y expandieron por África hace unos 2 m.a. durante un periodo de intensa aridez, adaptándose a un tipo de alimentación vegetariana poco especializada y que consistía básicamente en tubérculos. Sus modificaciones anatómicas tienen relación directa con el tipo de alimentación: gran robustez del aparato masticatorio, grandes dientes y desarrollo de una importante cresta sagital en el cráneo en la que se insertan unos potentes músculos masticatorios.

LOS PRIMEROS REPRESENTANTES DEL GÉNERO *Homo*

El género *Homo* surge hace poco más de 2 m.a., al parecer como consecuencia del mismo cambio climático que dio lugar a los homínidos robustos. Los primeros representantes de este género, en lugar de adaptarse a una alimentación vegetariana acorde con la aridez del medio, aprendieron a fabricar utensilios con las piedras que encontraban en su entorno. Con estos objetos su dieta dejó de depender exclusivamente de los vegetales y tuvieron acceso a otras fuentes de proteínas obtenidas por lo general

de cadáveres de animales cazados por los grandes carnívoros. Las capacidades manuales y cerebrales experimentaron a partir de este momento un desarrollo progresivo con rápidos avances en todos los ámbitos (tecnología y cultura).

En África, los primeros restos atribuibles al género *Homo* se encontraron en sedimentos del Plioceno de edad 2,5 m.a. El esqueleto de estos homínidos presenta características anatómicas típicamente humanas, como el mayor tamaño del cerebro, la cara reducida y vertical, los dientes más pequeños, la nariz prominente y modificaciones particulares en la región pélvica. Pero lo realmente destacable es que, asociados a los fósiles, se encuentran los primeros vestigios claros de actividad tecnológica humana, como es la primera industria lítica Olduvaiense. Estos primeros restos fósiles conocidos de *Homo* (*H. habilis*) proceden de las regiones de Olduvai (Tanzania), Koobi Fora (Kenia), Valle del Omo (Etiopía) y de yacimientos en cuevas de Sterkfontein (Suráfrica).

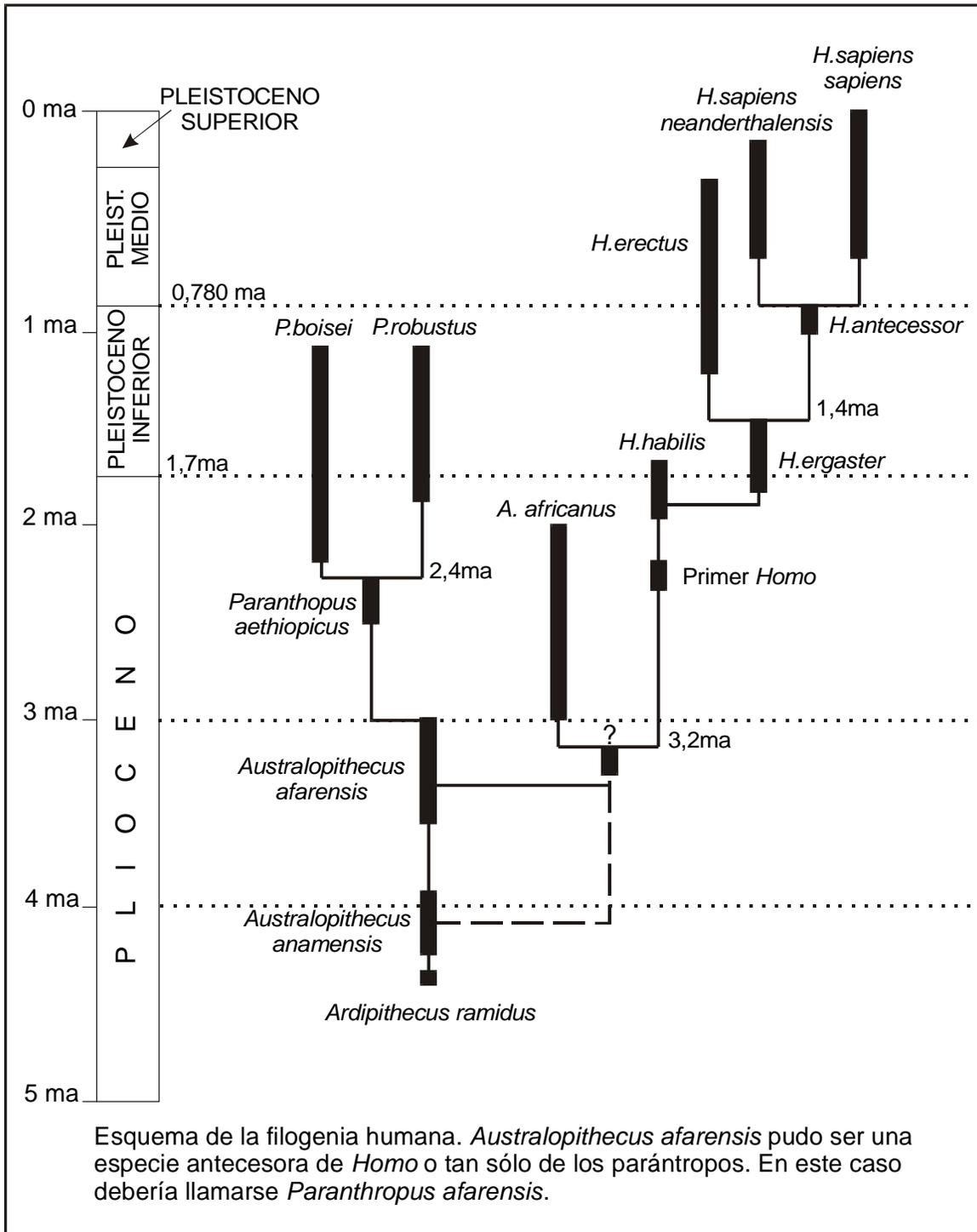
El origen y la dispersión del género *Homo* en África se han interpretado como consecuencia de un drástico cambio climático que transformó las condiciones de vida de las faunas africanas hace poco más de 2,5 m.a. Quedaron libres nuevos biotopos (como zonas próximas a cursos de agua y pantanos) para la colonización de los grupos en desarrollo, entre los que destacan los humanos primitivos, que se expandieron por todo el continente africano hace 1,9 m.a.

Hasta los años 80 se suponía que *H. erectus* es el que colonizaba Europa procedente de Asia hace poco más de 700.000 años. Sin embargo, las últimas investigaciones permiten considerar la hipótesis de una primera oleada migratoria que saliendo de África hace más de 1,8 m.a. colonizaría pronto Asia y Europa. Surge una nueva pregunta: ¿qué especie colonizó Eurasia, *H. habilis*, *H. ergaster* u *H. erectus*?

A finales del siglo XIX fueron descubiertos en la Isla de Java los primeros fósiles humanos asiáticos. Se denominaron *Pithecanthropus erectus* ("hombre mono que caminaba erguido"), aunque este homínido está considerado actualmente dentro del género *Homo*. Este *H. erectus* de Asia posee los mismos caracteres que el *H. erectus* africano: cráneo bajo, frente huidiza, arcadas supraorbitarias prominentes y torus occipital, pero su capacidad craneana es superior.

Excepto en la isla de Java, donde *H. erectus* perdura hasta hace 200.000 años por el equilibrio ambiental propiciado por la insularidad, en el resto del mundo este grupo desaparece relativamente pronto y, a partir del Pleistoceno medio da paso a nuevas formas humanas denominadas *Homo sapiens* "arcaicos". Estos organismos combinaron la robustez de *H. ergaster* con una capacidad craneal superior, frente menos huidiza y dientes más pequeños.

Los *Homo sapiens* "arcaicos" habitaron Europa y África durante un intervalo de tiempo comprendido entre 650.000 y 300.000 años de antigüedad, siendo los autores de las características industrias en piedra del tipo Achelense, mucho más difundidas que sus propios testimonios fósiles directos. Se les considera descendientes de alguna población de *H. erectus* asiático y antepasados directos de los neanderthales.



LOS ANTEPASADOS DE LOS NEANDERTHALES

Hace entre 300.000 y 200.000 años empezó a establecerse un nuevo modelo, identificado a partir de restos fósiles procedentes de Swanscombe (Inglaterra), Atapuerca (España) y Ehringsdorf (Alemania), que parece combinar características de *H. sapiens* "arcaico" junto a otras de *H. sapiens neanderthalensis*. Los verdaderos neanderthales se desarrollaron

hace 120.000 años a partir de esta forma precursora, y en torno a hace 70.000 años los "neanderthales clásicos" poblaban toda Europa.

Los fósiles españoles de Atapuerca (Burgos) constituyen la muestra más espectacular de este grupo humano y la más completa de homínidos fósiles del Pleistoceno medio a nivel mundial.

EL HOMBRE DE NEANDERTHAL

El *Homo sapiens neanderthalensis* habitó Europa desde el final del Pleistoceno medio (120.000 años de antigüedad) hasta el Pleistoceno superior (hace 35.000 años), coincidiendo con los periodos glaciares más intensos. Sus rasgos anatómicos más distintivos son cierta robustez y tosquedad en el cráneo (frente falsa, torus supraorbitario acentuado, ensanchamiento posterior del cráneo, cara grande y saliente, órbitas notorias, maxilares amplios, ausencia de mentón) y notable robustez del esqueleto postcranial: la columna vertebral y los miembros son similares a los del hombre actual pero con apreciables diferencias en el húmero, la escápula, el radio, la tibia y la pelvis. Los miembros inferiores son cortos, con fuerte curvatura del fémur, pero el esqueleto del pie es como el de los hombres modernos. La capacidad craneana es de 1.625 cm³, superior a la del hombre actual.

En general, se piensa que tal complexión física estaba modificada para habitar en medios fríos, de modo que la estructura de su rostro ha sido interpretada como una adaptación respiratoria a los rigores invernales.

Los fósiles de neanderthales han sido encontrados en numerosas localidades de Europa: Engis, Spy y Dinant (Bélgica); Neanderthal (Alemania); Krapina (antigua Yugoslavia); Saccopastore, Monte Circeo (Italia); Le Moustier, Le Chapelle-aux-Saints, La Ferrassie, La Quina, Hortus (Francia); Bañolas, Valdegoba, Cova Negra, Cabezo Gordo, Sierra Umbria, Zafarraya y La Carigüela (España).

Los hombres de neanderthal utilizaban piedras y huesos para fabricar sus utensilios (industria Musteriense). El nivel cultural de este grupo humano era elevado y en ellos se reconocen los primeros testimonios indiscutibles de creencias religiosas (enterramientos y ritos sepulcrales).

Parece ser que hace 35.000 años se produjo la extinción drástica del hombre de neanderthal en Europa, donde es sustituido hace 30.000 años por los hombres anatómicamente modernos. Las causas de esta desaparición se desconocen aún, aunque algunos autores han invocado el brusco impacto tecnológico y cultural que supuso la llegada del *Homo sapiens sapiens* a nuestro continente, procedente de África y Oriente próximo.

Por último, parece más que probable que el hombre abandonase África hace poco menos de 2 m.a. y colonizase ciertas regiones de Eurasia unos miles de años más tarde. Algunos investigadores relacionan lo prematuro de esta migración desde África con la ausencia de industrias achelenses en China y Java, dado que esta tecnología se inicia en África hace 1,4 m.a., siendo por tanto desconocida para las primeras hordas migratorias que abandonaron África.

6.2 ORIGEN Y SIGNIFICADO DE LAS UNIDADES CRONOESTRATIGRÁFICAS

Las rocas depositadas en capas superpuestas que nos indican el orden de su formación componen una columna geológica que contiene toda la historia que nos puede llegar nuestro planeta. De hecho, la corteza terrestre contiene el registro de las transformaciones que han sufrido las rocas desde su formación. Los geólogos han localizado en algunos puntos de la superficie restos de edades pasadas y han calculado su orden cronológico.

A comienzos del siglo XIX era evidente para muchos estudiosos del paisaje y de la naturaleza que si en el pasado había operado la misma proporción de cambio que se observaba en el presente, deberían haberse necesitado centenares de millones de años para producirse espesores tan inmensos de rocas y niveles tan profundos de erosión. Estos naturalistas observaron que las rocas sedimentarias (areniscas, calizas, conglomerados) se habían depositado en capas o estratos con secuencias reconocibles, y descubrieron que algunas de estas capas podían contener un conjunto de fósiles que eran distintos de las series halladas en capas superiores o inferiores. Cada serie de fósiles era única en la misma edad geológica y podía ser usada para identificar rocas de edad similar en otras partes del país o del mundo.

Los primeros geólogos elaboraron el orden global de depósito de las rocas sedimentarias señalando las secuencias, primero en Inglaterra, después en Europa y más lejos. Identificaron entonces los periodos básicos grabados en las rocas portadoras de fósiles y, entre 1799 y 1879 acuñaron los nombres que aún utilizamos nosotros para estas edades. Algunas fueron bautizadas según las regiones donde se han encontrado secuencias típicas: el Jurásico por las montañas del Jura en Francia y Suiza; el Cámbrico por el nombre latino de Gales. Otros nombres describen las rocas típicas de su periodo: el Cretácico significa compuesto de tiza (creta), Carbonífero que contiene carbón. Los saltos entre los periodos están marcados por los cambios importantes en las clases de rocas depositadas y/o, de forma más importante, en los fósiles de plantas y animales que ellos contienen.

La escala de tiempo geológico divide la historia de la Tierra en eones, eras, sistemas y subdivisiones menores a partir de las evidencias de rocas cuya edad puede ser medida hasta unos 4.000 millones de años atrás. Una unidad cronoestratigráfica es *una subdivisión de rocas considerada únicamente como el registro de un intervalo específico de tiempo geológico*. Es decir, estas unidades se definen sobre secuencias de roca. Es el caso de Eón, Era, Sistema, Serie y Piso.

Se llama sistema a una secuencia tipo de rocas extendida por todo el mundo y definida sobre una base cronoestratigráfica determinada principalmente por su contenido en fósiles. La serie es la unidad de rango inmediatamente inferior al sistema. Tras ella, el piso, definido por un estrato tipo establecido localmente, que al reconocerse en otras regiones o países se convierte en imprescindible para la correlación estratigráfica. Normalmente, el piso toma su nombre de la geografía donde fue definido (ya sea el nombre actual, el latino, etc.), terminado en castellano *-iense*. De este modo, Maastrichtiense (último piso del Cretácico Superior) y Asghgilliense (último piso del Ordovícico Superior) responden a las localidades de Maastricht (Holanda) y Ash Gill (Gran Bretaña). En algunos casos, sin embargo, puede mantenerse el nombre geográfico original sin sufijo: Wenlock, Ludlow, etc.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD(m.a.)	ORIGEN DEL TÉRMINO	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	0,01	Del griego <i>holos</i> (entero, todo) y <i>kainos</i> (actual, reciente). Gervais, 1867.	
		PLEISTOCENO	SUP.	1,8	Pleistoceno procede del griego <i>pleistos</i> (el más que) y <i>kainos</i> (actual, reciente): el más reciente. Fue definido por Lyell en 1839.
			MEDIO		
	INF.				
	NEÓGENO	PLIOCENO	SUP.	23	Del griego <i>pleios</i> (más) y <i>kainos</i> (actual, reciente). Lyell (1833)
		MIOCENO	SUP.	23	Mioceno procede del griego <i>meios</i> (menos) y <i>kainos</i> (actual, reciente): el menos reciente. Fue definido por Lyell en 1833.
			INF.		
	PALEÓGENO	OLIGOCENO		23	Del griego <i>oligo</i> (poco) y <i>kainos</i> (actual, reciente).
		EOCENO		23	Eoceno procede del griego <i>eos</i> (alba) y <i>kainos</i> (actual, reciente). Fue definido por Lyell en 1833.
		PALEOCENO		65	Del griego <i>palaíos</i> (antiguo) y Eoceno. Schimper (1874)
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	135	Cretácico procede del latín <i>creta</i> , término referido a una caliza porosa muy carbonatada. Fue definido por Omalius d'Halloy en 1822.	
		INFERIOR			
	JURÁSICO	SUPERIOR	205	Jurásico procede de las montañas franco-suizas del Jura. Fue definido por Brongniart en 1830.	
		MEDIO			
		INFERIOR			
	TRIÁSICO	SUPERIOR	250	Triásico procede de las tres divisiones del <i>Trias</i> germánico (Keuper, Muschelkalk y Buntsandstein). Fue definido por Alberti en 1834.	
		MEDIO			
		INFERIOR			
	PÉRMICO	SUPERIOR	300	Pérmico procede de Perm, Rusia. Fue definido por Murchison en 1841.	
INFERIOR					
CARBONÍFERO	ESTEFANIENSE	360	Carbonífero procede del latín <i>carbo</i> , <i>-onis</i> (carbón) y <i>ferre</i> (llevar): es decir, portador de carbón. Fue definido por Conybeare en 1822.		
	WESTFALIENSE				
	NAMURIENSE				
	WISEENSE				
	TOURNAISIENSE				
DEVÓNICO	SUPERIOR	410	Devónico procede de Devonshire, Inglaterra. Fue definido por Sedgwick & Murchison en 1839.		
	MEDIO				
	INFERIOR				
SILÚRICO	PRÍDOLI	435	Silúrico procede del pueblo de los <i>siluros</i> , antiguos habitantes del País de Gales. Fue definido por Murchison en 1835.		
	LUDLOW				
	WENLOCK				
	LLANDOVERI				
ORDOVÍCICO	ASHGILL	500	Ordovícico procede del antiguo pueblo de los <i>ordovicios</i> , habitantes del País de Gales. Fue definido por Lapworth en 1879.		
	CARADOC				
	LLANDEILO-LLANVIRN				
	ARENIG				
	TREMADOC				
CÁMBRICO	SUPERIOR	540	Cámbrico procede de <i>Cambria</i> , nombre latino del País de Gales. Este Sistema fue definido por Sedgwick en 1835.		
	MEDIO				
	INFERIOR				

En el cuadro anterior se muestra la escala de tiempo geológico con el origen de los términos referidos a sistemas y a las series del Cenozoico.

Las unidades geocronológicas o unidades de tiempo geológico son divisiones del tiempo distinguidas sobre la base del registro de las rocas, particularmente como es expresado por las unidades cronoestratigráficas, pero no son unidades materiales, sino conceptos temporales abstractos. Comprenden el tiempo durante el cual se depositó una unidad cronoestratigráfica.

Son unidades geocronológicas Eon, Era, Periodo, Época y Edad. Así pues, la Edad marca el tiempo exacto durante el cual se depositó la unidad cronoestratigráfica equivalente, el Piso. La Época reflejará el tiempo de deposición de la Serie, el Periodo del Sistema, etc.

Es difícil establecer las correspondencias exactas entre algunas unidades que fueron definidas en localidades geográficas muy distantes entre sí, de manera que las equivalencias hay que aceptarlas con ciertas precauciones.

Y, ¿qué pasa con el Precámbrico? Esta unidad de tiempo, que abarca casi el 90% de su historia, no está caracterizada por unas rocas concretas. Esto se debe a la escasez de flora y fauna fósiles, por lo que sólo se pueden establecer zonas bioestratigráficas muy generales; carencia de marcadores temporales precisos distintos a las dataciones radiométricas; errores en los datos radiométricos, que en el Precámbrico más antiguo llegan a ser de 30 millones de años; la inmensidad del tiempo Precámbrico y lo avanzado de la destrucción del registro en esta época, de manera que los *vacíos* del registro pueden alcanzar con facilidad varios cientos de millones de años. En la actualidad, por debajo del Cámbrico e incluido en el Paleozoico se incluiría el Sistema Véndico, con dos Series: Varangeriense y Ediacariense. El límite inferior del Véndico se situaría en torno a los 650 millones de años y, por debajo, tendríamos el Eón Proterozoico (Inferior, Medio y Superior) y el eón Arcaico. El límite entre ambos eones se sitúa en los 2.500 millones de años, y se ha establecido a partir del cambio de la forma de los orógenos (de elípticos a lineales) y por la existencia de un episodio planetario, aunque diacrónico, en el que se formaron una gran cantidad de granitos y que finalizó hace unos 2.500 millones de años. Estos dos acontecimientos son procesos largos que sólo por comodidad se han convertido en un límite numérico.

6.3 DATACIONES EN GEOLOGÍA

Conocer la edad de las rocas y de los fósiles que se encuentran incluidos en ellas es una de las tareas más apasionantes de los geólogos. Las dataciones pueden proporcionar edades numéricas (dataciones absolutas) o bien pueden informar de las relaciones entre rocas y fósiles sin dar valores numéricos: hablaríamos entonces de dataciones relativas.

Los geólogos empezaron a abandonar el concepto de una Tierra joven a finales del siglo XVIII, cuando descubrieron que las rocas del planeta se organizan en estratos que resultan de unas fuerzas que aún hoy vemos en acción: el progresivo desgaste de las montañas y el depósito de sedimentos. Pero estos procesos de erosión actúan lentamente y para que se hubiesen creado los paisajes actuales la Tierra tendría que tener miles de millones de años.

Hubo que esperar hasta el siglo XX para que los científicos calcularan con exactitud la edad de nuestro planeta. Después de que los físicos descubrieran la radiactividad, comprendieron que podían utilizarla para averiguar la antigüedad de las rocas e incluso de la propia Tierra. Parte de los átomos radiactivos de la Tierra fueron expulsados de las estrellas cercanas que estallaron como supernovas. Después se incorporaron a un disco primordial que giraba alrededor del joven sol y que poco a poco formó el sistema solar.

Estos átomos radiactivos han estado en la Tierra desde su formación, por lo que pueden indicarnos la edad de nuestro planeta. Entre ellos figuran los isótopos del uranio, que se degradan en plomo: el uranio 235 en plomo 207, con una vida media de 704 millones de años, y el uranio 238 en plomo 206, con una vida media de 4.470 millones de años. ¿Qué quiere decir “vida media”? Los isótopos radiactivos se desintegran a una velocidad predecible, de manera que si partiéramos de una cantidad concreta de uranio radiactivo, un kilo por ejemplo, al cabo de 704 millones de años tendríamos la mitad, transformado a plomo 207. Y cuando hubieran transcurrido otros 704 millones de años sólo tendríamos de un cuarto de plomo 207. Por tanto, el tiempo en el que un isótopo queda reducido a la mitad se denomina en física vida media.

La edad calculada para la Tierra es de 4.550 millones de años. Tal cifra se obtuvo en los años cincuenta a partir de la comparación de las cantidades de uranio y torio presentes en las rocas terrestres con las de los meteoritos que habían chocado contra la Tierra. A medida que la Tierra fue enfriándose y desarrollando una corteza se formaron las primeras rocas. Determinar la edad de las rocas más antiguas ha resultado ser más difícil que calcular la edad de la propia Tierra. Cuando se forma una roca, el uranio que contiene empieza a transformarse lentamente en plomo, pero si las aguas subterráneas añaden o sustraen plomo o uranio, se obtendrá una edad errónea.

Sin embargo, existe un reloj geológico de gran precisión: cuando el magma se enfría, se forman unos pequeños cristales muy resistentes llamados circones, en cuya red cristalina quedan atrapados unos pocos átomos de uranio. Una vez formado, un circonio puede permanecer intacto durante miles de millones de años porque repele prácticamente toda contaminación. A lo largo de estos miles de millones de años, el uranio atrapado se degrada lentamente en plomo. Los circones sobreviven incluso a la erosión total de la roca en la que originalmente se formaron. En Australia Occidental se ha encontrado un circonio de 4.400 millones de años atrapado en el interior de una roca que data de apenas 3.100 millones de años.

Los primeros signos químicos inequívocos de vida en la Tierra son mucho más antiguos. Se han hallado en Groenlandia, en la roca sedimentaria más vieja del planeta.

Conocemos su edad porque la roca está incluida en otra un poco más joven que contiene circones que datan de hace 3.900 millones de años. Durante los 3.000 millones de años siguientes a aquellos primeros signos, la vida no dejó más que huellas microscópicas en el registro fósil. Después, poco antes del Cámbrico, aparecen extraños fósiles multicelulares que reciben el nombre de fauna de Ediacara. Los paleontólogos no saben con certeza si alguna o varias de esas criaturas son precursoras de los animales más recientes, pero sí saben que los primeros fósiles de casi todos los grandes grupos de animales corresponden al Cámbrico Inferior. La explosión del Cámbrico comenzó hace unos 530 millones de años y, a excepción del origen de la vida humana, ese episodio constituye el mayor desafío científico sobre la evolución.

MÉTODOS BIOLÓGICOS DE DATACIÓN

El más conocido es el de empleo de especies **fósiles** abundantes en determinados estratos y diferentes de las presentes en estratos superiores o inferiores. Los paleontólogos utilizan a los denominados de fósiles-guía, que son especies fósiles delimitadas estrechamente en el tiempo y con una gran dispersión geográfica; análogamente, el nivel-guía será el conjunto de estratos que contiene un fósil-guía. En principio, los fósiles-guía son valiosos no sólo como indicadores cronológicos, sino sobre todo como elementos de correlación. Sin embargo, no hay ninguna especie biológica que sea universal ni que aparezca instantáneamente, de manera que en la bioestratigrafía moderna (es decir, la datación de los estratos mediante fósiles) los fósiles-guía se utilizan de forma limitada.

Otros métodos biológicos de datación son, por ejemplo, los **anillos de crecimiento** de los corales. Algunos corales solitarios presentan discontinuidades anulares que en general se interpretan como etapas de crecimiento lento coincidentes con temperaturas menos altas; dos discontinuidades comprenderían un año de crecimiento. A su vez, entre dos discontinuidades se pueden apreciar estrías muy finas que representarían el crecimiento diario del coral. Los corales permiten una comprobación sorprendente de la validez de las edades numéricas obtenidas mediante isótopos. Partiendo de la base de que la Tierra gira 20 segundos más despacio cada millón de años como consecuencia de la atracción lunar, el número de días del año será cada vez menor. En el Cámbrico (hace unos 540 millones de años), el día duraría 21 horas, por lo que un año constaría de 418 días. De esta forma, se puede predecir el número de anillos de crecimiento por año que debe tener un coral de edad conocida. Los ejemplos medidos coinciden aproximadamente con la escala.

Los **relojes moleculares** también permiten establecer dataciones. Es el caso de los relojes de ADN y los relojes proteínicos, basados en el mismo principio: una vez que dos especies se separan en su evolución, su material genético acumula mutaciones. Por ello, especies estrechamente emparentadas tienen ADN y proteínas similares y viceversa. Para poder convertir este grado de parentesco en edades es necesario que se cumplan dos condiciones: que se demuestre que los cambios evolutivos en el ADN se producen a ritmo constante y que se consiga una datación numérica de algún acontecimiento evolutivo que afecte a antepasados de las especies hibridadas. Este tipo de datación se ha empleado, por ejemplo, para fechar la aparición de los mamíferos y en la actualidad se emplea para situar con mayor precisión la explosión del Cámbrico.

MÉTODOS FÍSICOS Y GEOFÍSICOS DE DATACIÓN

Las **huellas de fisión** encontradas en minerales ricos en uranio ^{238}U permiten datar las rocas. Este isótopo se fisiona espontáneamente en dos núcleos de masas parecidas. La edad podrá obtenerse midiendo la cantidad de huellas de fisión por unidad de superficie y dividiéndola entre la concentración del uranio en el mineral: a iguales contenidos de uranio, un mineral con más huellas de fisión será más antiguo. Este método permite calcular edades de las rocas desde 0,5 a 1.000 millones de años.

Otro método es el de la **termoluminiscencia**, basado en que las redes de los minerales retienen partículas cargadas procedentes de su entorno. Algunos minerales (cuarzo, feldespato o circón) al ser calentados liberan estas partículas, que causan una luminosidad de intensidad proporcional a la cantidad de irradiación recibida desde su último calentamiento. Este método sirve para datar minerales, vidrio natural, cerámicas, etc, y se puede emplear en edades desde 0 a 500.000 años.

La **magnetoestratigrafía** permite datar las rocas tomando como referencia las inversiones de polaridad del campo magnético terrestre. Estas inversiones son universales y geológicamente muy rápidas (su duración media es de unos 5.000 años). El método consiste en datar las rocas inmediatas a una inversión, de modo que cada vez que consigamos localizar esta inversión en cualquier otro punto sabremos cuál es la edad de las rocas adyacentes. De esta forma se construye una escala magnetoestratigráfica con apoyo cronológico. La limitación más importante de esta escala como instrumento de datación es que las inversiones son demasiado frecuentes (más de 130 en los últimos cien millones de años), por lo que una inversión concreta puede ser difícil de localizar con precisión. Además, los fenómenos eléctricos naturales o el metamorfismo térmico pueden borrar el magnetismo remanente de las rocas, generando muestras de polaridad indefinida.

Las **técnicas isotópicas** de datación se han podido llevar a cabo a partir del descubrimiento de la radiactividad. El método consiste en calcular la proporción entre la cantidad residual de elementos radiactivos (llamados también elementos padre o primigenios) y las de sustancias derivadas (elementos hijo o radiogénicos). Para que un elemento radiogénico sea utilizado en datación hacen falta tres condiciones: que se trate de un elemento relativamente común, que su tiempo de semidesintegración no sea demasiado grande ni demasiado pequeña respecto al intervalo de tiempo que queremos medir (en general, el alcance máximo de un método es diez veces el tiempo de semidesintegración de su elemento padre), y que el elemento hijo se pueda distinguir de las eventuales cantidades del mismo isótopo ya presente en el mineral desde su formación.

La precisión de las medidas radiométricas depende en gran medida de los errores del análisis. Las cantidades que se analizan son tan pequeñas que es frecuente que haya que añadir cantidades conocidas del mismo isótopo a modo de *trazador*, y no están al alcance de cualquier laboratorio. Aunque la edad de una roca es casi siempre la media de varias determinaciones en minerales y en roca total, y aunque para mayor seguridad se procura utilizar más de un método, los márgenes de error son a veces considerables.

En la tabla de la página siguiente se exponen las características de algunos de los métodos de datación radiométrica más utilizados.

ELEMENTO PADRE	ELEMENTO HIJO	TIEMPO DE SEMIDESINTEGRACIÓN (AÑOS)	OBSERVACIONES
Samario ¹⁴⁷	Neodimio ¹⁴³	106.000 x 10 ⁶	El mejor método en rocas metamórficas muy antiguas
Rubidio ⁸⁷	Estroncio ⁸⁷	47.000 x 10 ⁶	Utilizable en principio en cualquier tipo de roca
Uranio ²³⁸	Plomo ²⁰⁶	4.510 x 10 ⁶	El método más preciso
Potasio ⁴⁰	Argón ⁴⁰	1.300 x 10 ⁶	El método más común
Uranio ²³⁵	Plomo ²⁰⁷	713 x 10 ⁶	Muy preciso
Berilio ¹⁰	Boro ¹⁰	1,5 x 10 ⁶	Muy útil en rocas sedimentarias
Torio ²³⁰	Radio ²²⁶	75.000	Muy útiles en sedimentos marinos de menos de un millón de años
Protactinio ²³¹	Actinio ²²⁷	34.300	
Carbono ¹⁴	Nitrógeno ¹⁴	5.730	Útil en materiales de origen biológico
Argón ³⁹	Potasio ³⁹	269	Para edades de agua o hielo inferiores a mil años
Tritio	Helio ³	12,43	Para edades de agua o hielo de sólo unas décadas

Así pues, el tiempo abstracto de la física se convierte en una sucesión concreta de acontecimientos que llenan lo que por convención se denomina tiempo geológico. Las mediciones del tiempo en geología se efectúan atendiendo a dos criterios: el orden de ocurrencia de los sucesos y la acumulación del producto de un proceso, que sucede a un ritmo fijo. Aplicando el primer criterio se obtienen edades relativas; utilizando el segundo, edades numéricas o absolutas. La datación relativa de la sucesión de fósiles ha permitido la construcción del calendario estratigráfico clásico. Las edades numéricas obtenidas a partir de los métodos de datación absoluta permiten convertir al gran calendario terrestre en un calendario cronoestratigráfico

CONDICIONES DE VISITA

El acceso al Museo es gratuito. Los grupos deberán concertar por teléfono el día y la hora de la visita.

VISITAS GUIADAS

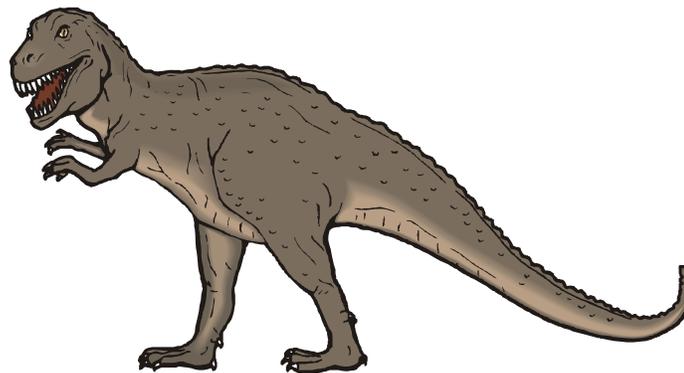
El Museo ofrece de lunes a viernes la asistencia de guías que acompañan y asesoran a los grupos a través del programa Voluntarios Culturales Mayores para enseñar los Museos y las Catedrales de España, gestionado por la Confederación Española de Aulas de la Tercera Edad.

ACCESOS

Autobuses: Líneas 3, 12, 37, 45 y 149
Metro: Ríos Rosas, Línea 1 (salida impares)

HORARIO

De lunes a domingo, de 9 a 14 horas.
Cerrado los días 24, 25 y 31 de diciembre y 1 y 6 de enero.



Museo Geominero

Ríos Rosas, 23
28003 Madrid

Tel: 91 349 5759. Sala y solicitud de visitas
91 349 5959. Secretaría del Museo.
Fax: 91 349 5828

m.geominero@igme.es
www.igme.es

ÍNDICE

1. La exposición	1
1.1 Adecuación a la Educación Primaria	1
1.2 Adecuación a la Educación Secundaria Obligatoria	1
2. Relación de vitrinas de la exposición	4
2.1 Planta baja	4
2.2 Pasillos de acceso	6
2.3 Planta primera	7
2.4 Planta segunda	8
3. Orientaciones para los profesores: Minerales y Rocas	11
3.1 Exposición de Sistemática Mineral (Vitrinas 1-21)	11
3.2 Exposición de Recursos Minerales (Vitrinas 22-28)	16
3.3 Exposición de Minerales de las Comunidades Autónomas (Vitrinas 112-138)	19
3.4 Exposición de Rocas Básicas (Vitrinas 139-141)	23
4. Orientaciones para los profesores: Fósiles	25
4.1 Exposición de Flora e Invertebrados Fósiles Españoles (Vitrinas 29-72)	25
4.2 Exposición de Paleontología Sistemática (Vitrinas 224-245)	32
4.3 Exposición de Fósiles Extranjeros (Vitrinas 213-223, 247-257)	37
4.4 Exposición de Vertebrados Fósiles (Vitrinas 83-98, 108-111)	39
4.5 Exposición de Yacimientos Singulares (Vitrinas 99-106)	47
5. Vitrinas Temáticas	50
5.1 Rocas ornamentales y gemas (Vitrina 79)	50
5.2 El ámbar (Vitrina 80)	50
5.3 Propiedades físicas de los minerales (Vitrina 81)	51
5.4 Sistemas cristalográficos (Vitrina 82)	52
6. Temas complementarios	53
6.1 Algunas consideraciones sobre la evolución humana	53
6.2 Origen y significado de las unidades cronoestratigráficas	59
6.3 Dataciones en Geología	62