

Meteoritos: un resplandor que ilumina el pasado remoto de nuestro Sistema Solar y de nuestro planeta



Isabel Giraud de Lucio

Museo de Piedras Patagónicas

METEORITOS

**Un resplandor que ilumina el pasado remoto de
nuestro Sistema Solar y de nuestro planeta**

Isabel Giraud de Lucio
Museo de Piedras Patagónicas

**Mallín Ahogado, El Bolsón
Provincia de Río Negro**

Colección
EPPUR SÌ MUOVE



A lo largo de la historia de la humanidad, los meteoritos siempre irrumpieron desplegando el asombro, la sorpresa ante lo que no encuadra en los compartimentos de los conocimientos previos, la incomodidad ante lo que no encuentra su lugar en un edificio teórico largamente consolidado.

Al mismo tiempo, estallan en destellos que encienden el pensamiento y la imaginación, como chispas cósmicas que iluminan nuevos ámbitos, dejando tras de sí un resplandor que incentiva la apertura de espacios de investigación, que obliga a repensar y redefinir estructuras de pensamiento y que abre horizontes impensados en el desarrollo de la ciencia: desde la primera comprensión de la naturaleza de los astros al descubrimiento de los cuasi cristales.

Este libro busca crear conciencia de que cada meteorito es un condensado de información irrepetible, una nueva caja de sorpresas para la ciencia, un párrafo más de un código cósmico en el que está escrita la historia de nuestro sistema solar y de nuestro planeta.

Giraud de Lucio, Isabel
Meteoritos : un resplandor que ilumina el
pasado remoto de nuestro Sistema Solar y de
nuestro planeta / Isabel Giraud de Lucio. - 1a
ed. - Villa Sáenz Peña : Imaginante, 2022.
Libro digital, EPUB

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-987-8919-51-5

1. Meteoritos. 2. Meteoros. 3. Muestras
Museográficas. I. Título.
CDD 523.51

Edición: Oscar Fortuna.
Diseño de cubierta: Raquel Chanampa.

© 2022, Isabel Giraud de Lucio
© De esta edición:
2022 - Editorial Imaginante.
www.editorialimaginante.com.ar
www.facebook.com/editorialimaginante

Libro editado en ARGENTINA.

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra bajo cualquier método, incluidos reprografía, la fotocopia y el tratamiento digital, sin la previa y expresa autorización por escrito del titular del copyright.

ISBN 978-987-8919-51-5

Conversión a formato digital: Libresque

Agradecimientos

A mi esposo, Eduardo Lucio, por su amor e imprescindible apoyo.

A mi familia y amigos, por su sensibilidad y cariño.

Al Dr. Rogelio D. Acevedo, y al Dr. Alfredo M. Kuck, por sus importantes observaciones críticas que contribuyeron a mejorar sustancialmente el presente escrito, y al investigador Maximiliano Rocca, por su lectura del manuscrito y comentarios.

A los miles de visitantes al Museo que cotidianamente nos brindan su aprobación y confianza, y nos incentivan a perfeccionarlo permanentemente.

Prólogo

En apariencia son ásperos y feos. Sus aristas son grises... parafraseando a Juana de Ibarbourou en su célebre poema a la higuera, podemos decir que la apariencia de los meteoritos no pareciera sugerir mucho, enmascarados tras su costra de fusión. Lucen como objetos inanimados. Y lo son, claro. Empero tras esa inmutable envoltura nos cuentan la mismísima historia de nuestro trajinado Sistema Solar. Y eso es lo que nos quiere transmitir en esta obra magnífica Isabel Giraudo de Lucio, desde el Museo de Piedras Patagónicas de El Bolsón, mostrándonos cómo estos trozos de cuerpos celestes se han desprendido de su roca madre y llegado inexorablemente hasta nosotros a través de los siglos, anunciando su entrada en escena con una estela de luz, haciendo más o menos ruido en su llegada - como las personas- y esperando pacientemente su hallazgo por los hombres que finalmente han descubierto su inconmensurable valor para la ciencia.

La obra que aquí disfrutaremos se inicia con la presentación en sociedad de los meteoritos en su contexto histórico. Luego aborda en los siguientes capítulos la clasificación de los mismos, con una particular atención no solo en los componentes minerales sino también en la

materia orgánica que pudieren contener. Pasa luego a la creación y evolución del Sistema Solar y la formación de los cuerpos parentales de los meteoritos en ese contexto, y su posición cronológica. Los dos últimos capítulos abordan, por un lado, su importancia como herramienta geológica y, por otro, las estructuras de impacto que originan las caídas de meteoritos de gran tamaño. Un apartado se ocupa de las pallasitas, una excepción a la presentación precedente porque son meteoritos realmente vistosos, constituidos por gemas de peridoto engarzadas en una masa metálica de Hierro-Níquel.

Por todo ello, por lo que son y por lo que representan, emulando una vez más a la eterna poetisa uruguaya, afirmamos aquí sin hesitación que los meteoritos son las rocas más bellas. En las profundas líneas que siguen a continuación se da fe de ello.

Rogelio Daniel Acevedo

Capítulo 1

Meteoritos: un resplandor que ilumina el pasado remoto de nuestro Sistema Solar y de nuestro planeta

Una estela resplandeciente ilumina el cielo. Una luz intensa, como la de una estrella, desciende acercándose a la Tierra a gran velocidad, dejando a su paso un trazo fulgurante y humeante para pronto impactar en el suelo en un estallido acompañado de temblores, estruendos y fogonazos.

La caída de un meteorito: un fenómeno luminoso surcando el cielo e inquietando el corazón y la mente humana. Un mensaje de los dioses celestiales, un presagio funesto, una revelación sobrenatural, una presencia extraterrestre, un enigma...a lo largo de la historia los meteoritos han despertado emociones, temores, zozobras, desconciertos, inquietudes. Inquietudes que han dado lugar a interpretaciones religiosas, místicas, esotéricas...pero que han encendido al mismo tiempo la chispa de la investigación científica.



1.1 Un pequeño homenaje a Anaxágoras

Uno de los primeros meteoritos del que se tenga referencia histórica y que ha encendido la chispa de la investigación científica es el de Egos Pótamos, cuya caída se sitúa entre los años 467 y 466 a.C. en la Magna Grecia, en algún lugar de Tracia, región situada en los Balcanes, junto al río Egos.

Para ese entonces, en el mundo cultural helénico, el cielo estaba poblado por dioses, los astros mismos eran divinos.

Algunos científicos y filósofos, por su parte, entendían un Cosmos estructurado en función de 'elementos', concepto que combinaba de algún modo lo que hoy llamamos 'estados de agregación de la materia', es decir, sólido, líquido y gaseoso, con las ideas de densidad o peso específico.

Así, el 'mundo sublunar' es decir, el que está 'por debajo' de la Luna, estaba constituido por 4 de esos 'elementos': la Tierra, definida como lo sólido, denso, rígido y pesado, el Agua, menos densa, líquida y más móvil situada por encima de la Tierra, el Aire, menos denso aún, gaseoso y volátil y el Fuego, lo más liviano, altamente móvil y casi inasible por encima de ellos, apenas alcanzado por la gravedad. Todo lo existente en el mundo sublunar, incluidos los seres vivos, era entendido como una mezcla dinámica de distintas proporciones de estos elementos.

En el mundo supra lunar, en cambio, sólo había un quinto elemento, el Éter, elemento extremadamente sutil, purísimo y resplandeciente, no alcanzado por la gravedad, que constituía la materia del Sol y de los astros.

Los cambios, los movimientos de ascenso y descenso, los desplazamientos laterales, las generaciones de nuevos seres, las alteraciones y destrucciones, sólo tenían lugar en el mundo sublunar; a diferencia del mundo supralunar, en el que el éter y los astros eran eternos, imperturbables e indestructibles, no alcanzados por los cambios ni la temporalidad sino creadores del Tiempo mismo¹.

Situándonos en este contexto cultural, la caída de un meteorito proveniente del cielo, denso, sólido y pesado, vino a impactar mentes y espíritus y a generar gran conmoción en ideas, creencias y esquemas conceptuales estructurados y arraigados.

Cuando se disipó el revuelo, hubo un pensador audaz que se atrevió a poner en duda creencias y paradigmas

conceptuales de plena vigencia y que, analizando el meteorito caído, intuyó que podía brindar importantísimas claves para el conocimiento de los cuerpos celestes, postuló que la piedra caída del cielo era un fragmento de un astro, y que de allí se podía inferir “que el Sol, como los astros, son piedras incandescentes y que la Luna es un cuerpo de composición similar a la de la Tierra”.

Esta mente brillante, el filósofo Anaxágoras de Clazómenes, en el siglo V a.C., puede con justicia ser considerado como el primero en teorizar científicamente sobre los meteoritos.

Postuló que los astros no son etéreos sino “pétreos y pesados” y que “son impulsados por un fuerte movimiento rotatorio” y que “brillan por la fricción con el éter”, y que en algunas ocasiones “podían producirse deslizamientos o sacudimientos de esos cuerpos enclavados en el cielo” y que en esos casos “podían desprenderse, ser arrojados y caer a la Tierra”².



Esta admirable explicación, en un mundo en el que no existían ni telescopios ni sondas espaciales, ni análisis geoquímicos ni radares, fue recibida con perplejidad y reticencia por la comunidad filosófica y científica de la época (¿cómo podrían ser los astros de ‘piedra’, es decir, sólidos y pesados? ¿cómo se mantendrían en el éter sin caer? ¿cómo podría desprenderse un fragmento de astro de sus movimientos perpetuos, regulares y exactos, ordenadores del Tiempo?), y fue peor recibida, con incredulidad, indignación y condena por el conjunto de la sociedad ateniense (¿cómo los divinos astros que rigen nuestros destinos podrían ser simples piedras?).

Por sostener estas ideas Anaxágoras fue llevado a juicio acusado de ‘irreligiosidad’ y ‘falta de respeto a los dioses’, y fue condenado, puesto en prisión, y luego llevado al exilio, y hubiera sido condenado a muerte a no ser por la defensa que hizo de él Pericles, un importante jefe de estado ateniense, que había sido su discípulo³.

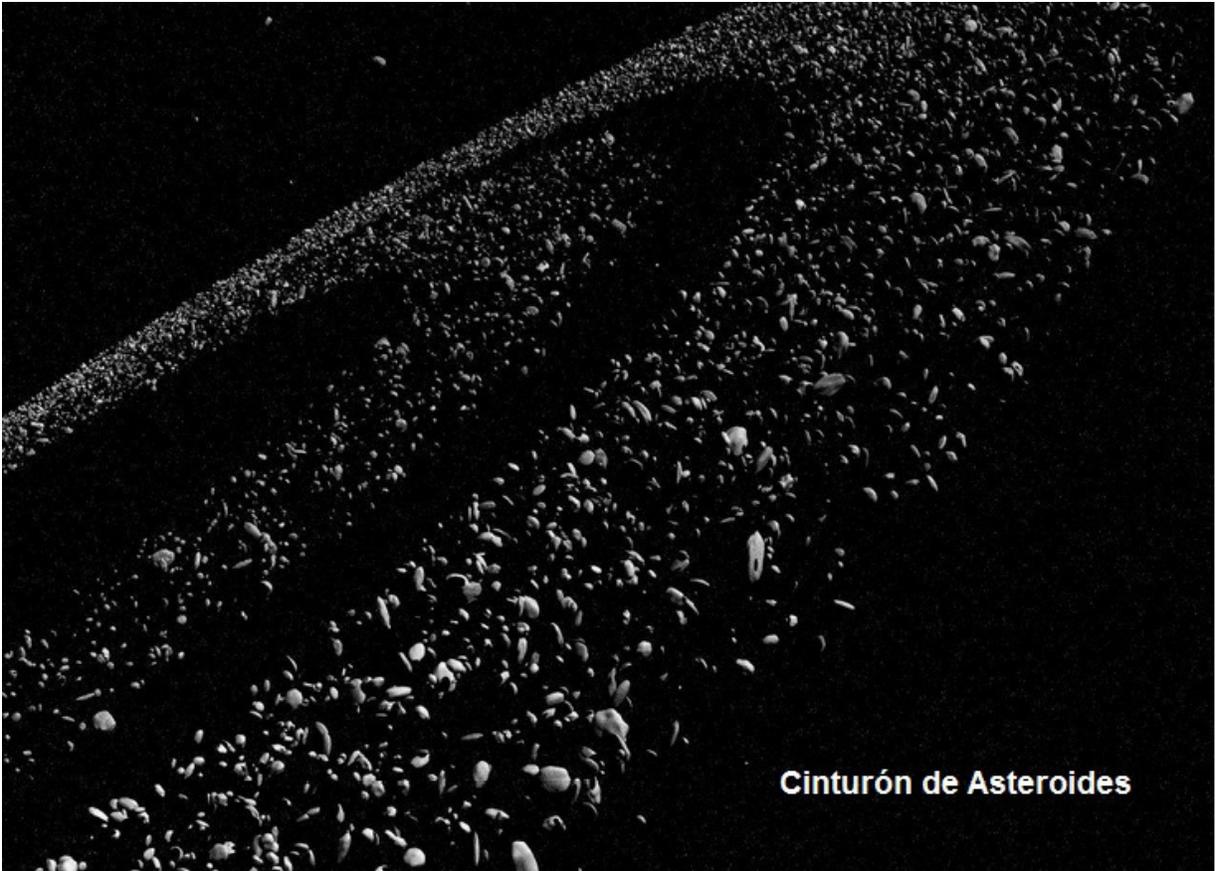
Hoy, como Anaxágoras 25 siglos atrás, creemos que los meteoritos son fragmentos de asteroides (si bien no ya de ‘astros’), creemos también que nos proveen importantísimas claves para la interpretación de los estadios originales de nuestro Sistema Solar, y también como él, creemos que la Luna está formada por rocas que alguna vez fueron parte de la Tierra.

1.2 ¿Qué son los meteoritos?

Los meteoritos son cuerpos rocosos o metálicos que ingresaron a la Tierra provenientes del espacio exterior.

En su mayoría son fragmentos sólidos de tamaños centimétricos hasta métricos (y en eventos muy excepcionales del pasado, pudieron ser kilométricos), provenientes de cuerpos orbitantes en el cinturón de asteroides, situado a una distancia aproximada de 2,8 UA del Sol⁴, que después de haberse desplazado durante millones de años en órbitas anómalas cercanas a la Tierra, son atraídos por el campo gravitatorio de ésta.

Los asteroides son cuerpos subplanetarios que orbitan entre el planeta Marte, el más externo de los planetas rocosos, y el planeta Júpiter, el más cercano de los planetas gigantes de gas⁵



Cualquier fragmento de materia sólida desmembrado de cuerpos orbitantes en el Sistema Solar, recibe el nombre de meteoroides.

La gran mayoría de los meteoroides son fragmentos de asteroides, si bien hay además unos pocos que son fragmentos de la Luna, y otros muy pocos, fragmentos de Marte, fragmentos que habrían sido eyectados cuando un asteroide impactara contra esos cuerpos celestes.



Imagen de un asteroide pasando cerca de la Tierra

Fotografía: NASA
earthsky.org

Un meteorito es la parte de uno de tales meteoroides que alcanza la superficie de la Tierra.

Un meteoroides puede pasar decenas de millones de años o más orbitando en el Sistema Solar interno antes de ingresar a la Tierra.

También hay meteoroides que son restos de cometas. Los cometas están compuestos mayormente por hielos, (hielos de agua, de amoníaco, de metano, de dióxido de carbono y de monóxido de carbono), y por pequeños agregados de materiales rocosos o metálicos, de tamaños que van desde el de polvo microscópico hasta el de granos de arena (por eso a los cometas se los llama 'bolas de nieve sucia').

La mayor parte de los fragmentos de cometas se volatilizan al entrar en la atmósfera desprendiendo gran luminosidad instantánea (son las llamadas 'estrellas fugaces') y muy poco material sólido alcanza la superficie

sólida de la Tierra, en forma de 'micrometeoritos', muy difícilmente recuperables.

En ciertas épocas del año la órbita de la Tierra intercepta enjambres de fragmentos de cometas alineados presumiblemente en lo que fueron órbitas de algunos de esos cuerpos de hielo conocidos o bien ya desintegrados. En esas ocasiones es posible presenciar el fenómeno de la llamada 'lluvia de estrellas'; entre ellas una de las más conocidas es la de las Perseidas, visible cada año en agosto en la dirección de la constelación de Perseo, y que se piensa que se trata de los restos de un cometa llamado '1862 III', que tiene un período de 110 años.



La caída de un meteoróide va acompañada por una brillante estela luminosa, generalmente blanca, roja o verde, llamada bólido.



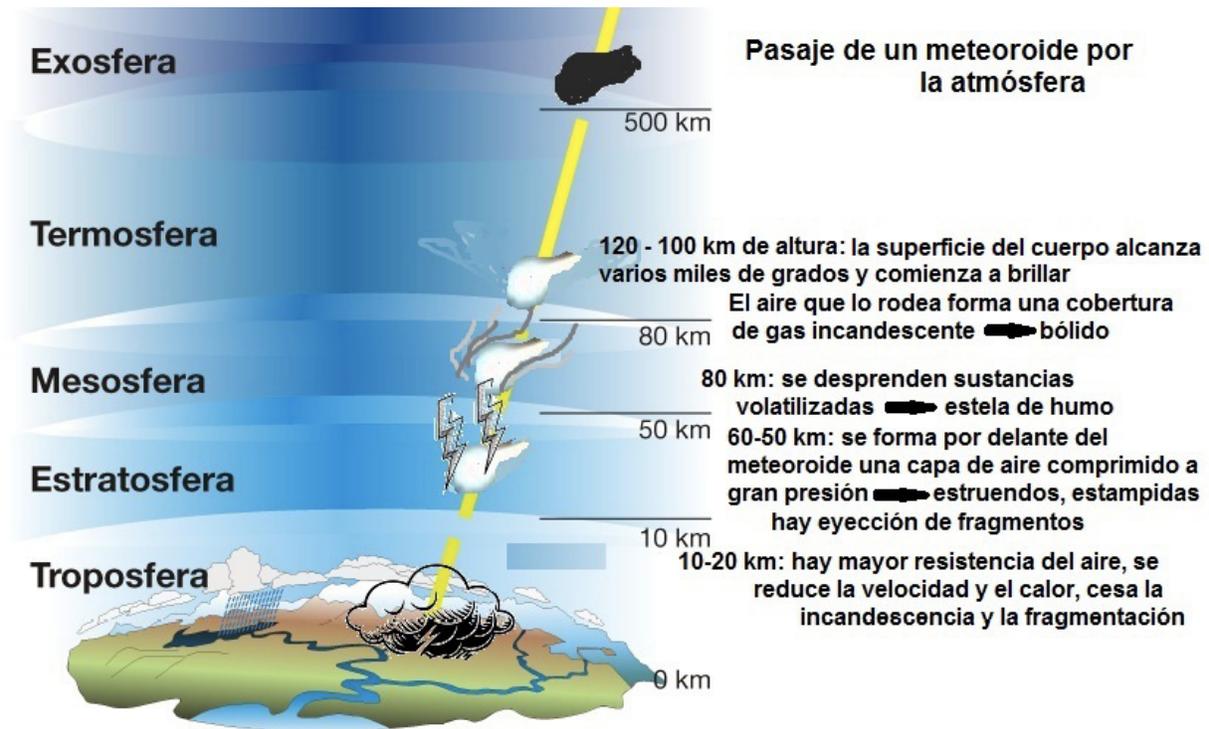
La trayectoria del meteoróide al penetrar en la atmósfera terrestre puede ser proveniente de distintas direcciones. Si lo hace en dirección contraria a la de la rotación de la Tierra, su velocidad puede ser extremadamente grande, de hasta unos 70 km por segundo. Si en cambio ingresa moviéndose en la misma dirección en que se mueve la Tierra, su velocidad puede ser de 11 km por segundo, una velocidad igualmente muy alta.

Al ingresar a estas velocidades tan grandes, en su trayecto a través de la atmósfera, el meteoróide encuentra gran resistencia, originada por la masa aérea. Incluso a la altura de 100, o 120 km de la superficie, altura en la que la atmósfera está extraordinariamente enrarecida, debido a

esas grandes velocidades, el aire ofrece una resistencia enorme y la superficie del cuerpo meteórico se calienta hasta varios miles de grados y comienza a brillar.

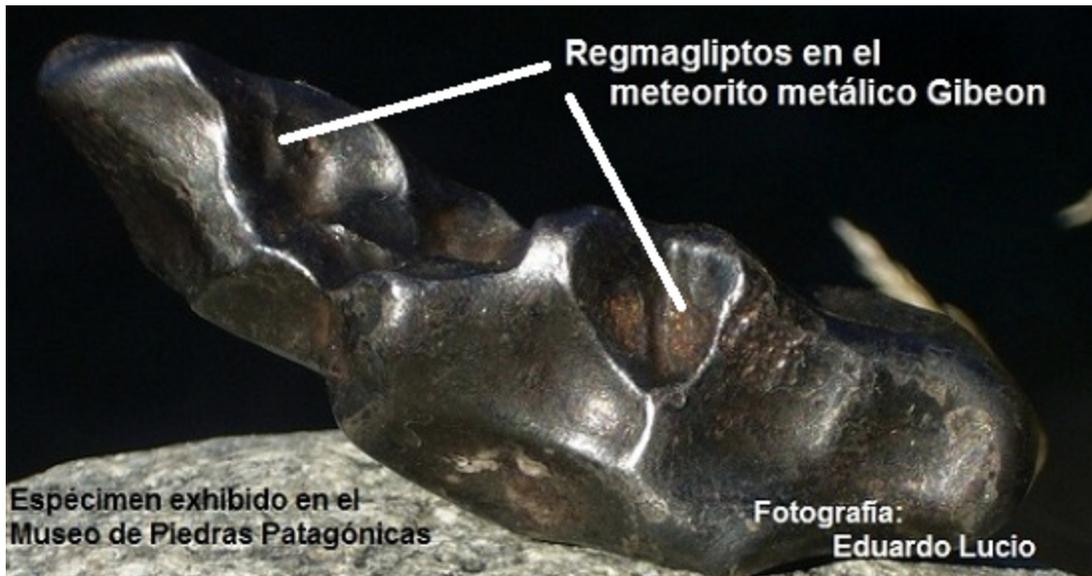
Al mismo tiempo, se calienta el aire que lo rodea y esta cobertura de gas incandescente que envuelve al meteoróide es lo que aparece en el cielo como un globo de fuego de movimiento vertiginoso, el bólido.

Las corrientes de aire con las que choca van arrancando las sustancias volatilizadas por las altas temperaturas y diseminándolas en forma de vapores y diminutas gotas, generando así la ablación térmica de la superficie del cuerpo. De este modo, a unos 83 km de altura, se forman la estela y el humo que el bólido deja detrás de sí.



Sobre la superficie del cuerpo, la ablación térmica moldea relieves negativos suavemente cóncavos, llamados

regmagliptos.



Al ingresar en la estratósfera, a la altura de unos 50 o 60 km sobre el suelo, donde la concentración de gases es lo suficientemente densa como para transmitir ondas acústicas, se forma por delante del cuerpo del meteoroide una capa de aire comprimido a gran presión. Estas ondas de presión son las que generan los estruendos y estampidos que se perciben acompañando su caída. Es entonces cuando los cuerpos grandes suelen fragmentarse y sus eyectos pueden dispersarse en una amplia área.

En su avance por capas más bajas de la atmósfera, capas que tienen mayor densidad, el meteoroide encuentra una resistencia cada vez mayor del aire y su velocidad comienza a disminuir. A la altura de unos 10 a 20 km el cuerpo en caída pierde velocidad, también calor, cesa la incandescencia y la fragmentación. Desaparece entonces la envoltura gaseosa en ignición que lo rodeaba y la capa más

externa del cuerpo, que pudo alcanzar el punto de fusión, se endurece formando una costra de fusión.



Para ese momento, la masa del meteoroide pudo haberse reducido hasta en un 95%.

El residuo sólido que alcanza la superficie de la Tierra constituye lo que llamamos meteorito.

Se estima que cuerpos impactantes de hasta 40 metros de diámetro pueden resistir el impacto sin desintegrarse completamente⁶, aunque por lo general se fragmentan durante la caída.

Cuerpos impactantes no fragmentados de más de 50 metros de diámetro si son rocosos o de más de 20 si son metálicos, experimentan poca o ninguna desaceleración al atravesar la atmósfera e impactan la superficie casi a su velocidad cósmica original.

Si el meteorito es lo suficientemente grande, tras el impacto contra la superficie de la Tierra, su energía cinética se transforma en ondas de choque, que son ondas de altísima presión (hasta del millón de atmósferas o más) y en energía térmica capaz de generar temperaturas que superan los 2500°C . El resultado es una gigantesca estructura de impacto y toneladas de rocas pulverizadas, fragmentadas y fundidas⁷.

Si el meteorito ha estallado durante la caída, los fragmentos desprendidos se dispersan por una amplia área generando un campo de cráteres de impacto.

Entre los meteoritos reconocidos se distinguen las “Caídas” y los “Hallazgos”. Las “caídas” son meteoritos que han sido recuperados a partir de la observación de un bólido cuya trayectoria puede ser asociada con un sitio de impacto. Los “hallazgos” son meteoritos hallados pero cuya caída no pudo ser observada.

Entre los hallazgos se encuentra una gran cantidad de meteoritos metálicos, pero su relativa abundancia no debe tomarse en cuenta como un indicador cuantitativo confiable, ya que responde a la mayor facilidad de distinguirlos por entre las rocas comunes de la superficie de la corteza terrestre.

Su aspecto metálico, su respuesta al imán, pero por sobre todo su peso (hay que pensar que tienen una densidad entre 7 y 7.8 g/cm³, lo cual es entre dos veces y media a tres veces más pesado que las rocas comunes de la corteza terrestre, cuya densidad oscila entre 2.6 y 3.1g/cm³), estas

características los hacen reconocibles con más facilidad que a los meteoritos pétreos, con aspectos y densidades más parecidas a las de las rocas terrestres de superficie.

Capítulo 2

Clases de meteoritos

2.1 Distintos criterios de clasificación

Tradicionalmente los meteoritos se clasificaron por su composición general.

Una clasificación de primer orden en cuanto a composición general distingue entre **pétreos**, de composición mayormente silicática, **metálicos**, consistentes en gran porcentaje en una aleación natural de hierro y níquel, y una clase intermedia, los mixtos, o **metálico-pétreos**, que son una mezcla de silicatos y metal.

Meteoritos	Pétreos
	Metálicos
	Metálico-pétreos

Otros criterios clasificatorios toman en cuenta texturas y mineralogía.

Textura define la relación entre los materiales que componen una roca. Entre los parámetros que se toman en cuenta para la caracterización de una textura se encuentra

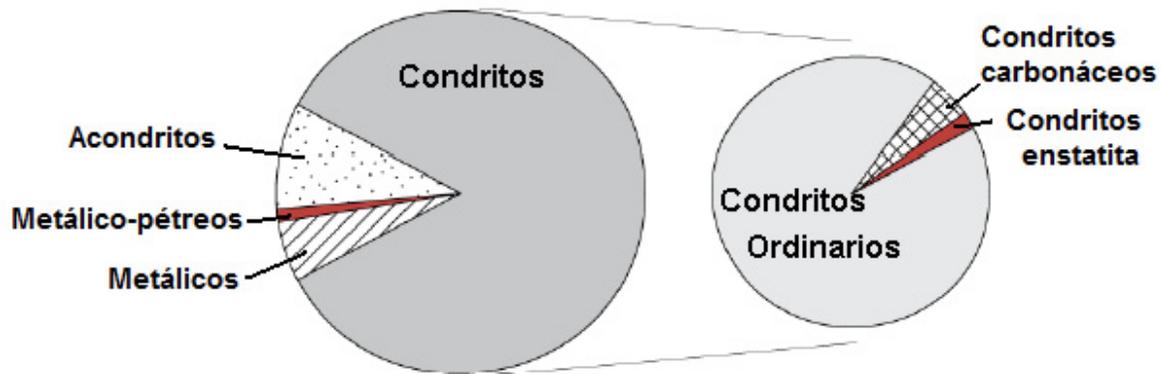
la existencia o no de cristales u otras estructuras visibles a simple vista o al microscopio, la forma de ellos, sus tamaños relativos y su disposición espacial. Se considera también si esos cristales o estructuras están inmersos o no en una pasta (matrix), y si esa pasta está formada por otros cristales mucho más pequeños o por vidrio, etc.

Mineralogía toma en cuenta los minerales que forman cada meteorito y sus proporciones relativas. Los minerales, a su vez, se definen en función de su composición química (los elementos químicos que intervienen) y su estructura cristalina (la forma de organizarse de esos elementos en función de parámetros espaciales tridimensionales)¹.

Algunos meteoritos pétreos contienen cóndrulos, pequeñas estructuras esféricas, que en algún momento fueron gotitas fundidas, y que pueden constituir hasta el 80% de la masa de los condritos (aunque el promedio sea, quizás, alrededor del 40%). Este rasgo textural permite diferenciar a los meteoritos pétreos en **condritos** (los que contienen cóndrulos) y **acondritos** (los que no los contienen).

Y entre los condritos se diferencian los **condritos ordinarios**, que constituyen la mayor parte de los condritos y que están formados en gran parte por silicatos como olivinos y piroxenos, los **condritos carbonáceos**, que contienen compuestos químicos carbonosos volátiles complejos, y agua, y los **condritos enstatita**, que contienen el silicato enstatita en proporciones dominantes.

Los condritos, y entre ellos, los condritos ordinarios, constituyen la mayor parte de las “caídas”.



Izq.: Abundancia relativa de los tipos más importantes de meteoritos caídos
Der.: Abundancia relativa de las diferentes clases de condritos

Modificado de White (2013)

Si bien los criterios tradicionales de clasificación mencionados siguen vigentes, más recientemente se priorizaron otros criterios, que ponen énfasis en la historia evolutiva de los cuerpos parentales de los cuales provienen los meteoritos.

Algunos asteroides, (o tal vez solamente sus capas más externas) nunca estuvieron expuestos a temperaturas suficientes como para sufrir procesos de fusión completa, y sólo sufrieron alteración acuosa y/o algún grado de metamorfismo. “Metamorfismo” alude a cambios texturales o mineralógicos producidos por presión y/o temperatura que tienen lugar en estado sólido, es decir, sin llegar al punto de fusión.

Otros asteroides, en cambio, estuvieron en algún momento sometidos a temperaturas más altas que las

temperaturas de fusión de metales y sulfuros y, al igual que los planetas, sufrieron los procesos de diferenciación gravitatoria que permitieron que las partes metálicas, más densas, migraran hacia el centro para concentrarse formando su núcleo, mientras que las partes silicáticas, menos densas, se separaron para formar una capa más externa envolviendo al núcleo, es decir, formando el “manto” del cuerpo.

Con el aumento sostenido de la temperatura, comenzarían a fundir los silicatos y procesos posteriores, como los acaecidos en los planetas rocosos o incluso en la Luna, podrían haber permitido la consecuente diferenciación entre capas silicáticas de mayor y menor densidad, dando lugar a la formación de una corteza, menos densa aún, ubicándose más externamente como cobertura del manto.

Así, este criterio clasificatorio relevante al presente distingue entre meteoritos **primitivos**, que incluye a los que no han estado sometidos a procesos de fusión generalizada en sus cuerpos parentales y sólo han sufrido alteración acuosa y/o algún grado de metamorfismo, y meteoritos **diferenciados**, que incluye a aquéllos que han pasado por procesos de fusión y subsiguiente diferenciación en sus cuerpos parentales.

Entre los **meteoritos primitivos** se ubica a los **condritos**. En ellos los procesos de alteración acuosa y/o metamorfismo acaecidos en sus cuerpos parentales no han borrado sus rasgos definitorios, los cóndrulos.

Y entre los **meteoritos diferenciados** se ubica a la mayor parte de los pétreos que no presentan cóndrulos, a los que se llama **acondritos** pétreos, porque se interpreta que la desaparición de esas pequeñas estructuras esféricas es consecuencia de procesos de fusión, también a los **meteoritos metálicos**, porque se entiende que su composición es producto de la cristalización de fundidos metálicos que se han separado de una parte silicática, y a las **pallasitas**, que son meteoritos metálico-pétreos, a los que se considera como productos de fundidos metálicos que ya se habían segregado de la parte silicática, pero que retuvieron cristales del manto de un asteroide en proceso de diferenciación.

Además, hay algunos meteoritos pétreos, que, a pesar de no contener cóndrulos, conservan composiciones minerales y químicas muy cercanas a las de los condritos y se piensa que provienen de cuerpos parentales (o de partes de ellos) que, aunque experimentaron algún grado de fusión, no pasaron por procesos de fusión generalizada. A éstos se los llama **acondritos primitivos**.

Así, con estos nuevos criterios, metálicos, pallasitas y pétreos diferenciados forman parte de un mismo orden, que algunos autores llaman, en conjunto, **acondritos**, aunque otros utilizan como término genérico, **no condríticos** o **diferenciados**.

En cuanto a la ubicación clasificatoria de los **acondritos primitivos**, aunque dio lugar a algún tipo de polémica, al presente prevalece el criterio de incluirlos en un orden

intermedio entre los **no diferenciados** (que abarca sólo a los condritos) y los **diferenciados** (que abarca a acondritos pétreos, metálicos y pallasitas).

Meteoritos	Primitivos no diferenciados	Condritos
	Primitivos poco diferenciados	Acondritos primitivos
	Diferenciados	Acondritos pétreos diferenciados
		Metálicos
		Metálico-pétreos: Pallasitas

2.2 Composición isotópica de oxígeno en los distintos cuerpos del Sistema Solar

Otro importante criterio que se toma en cuenta para definir los distintos grupos de meteoritos son las composiciones isotópicas de oxígeno.

Puede decirse que una idéntica composición isotópica de oxígeno es un criterio necesario para que dos meteoritos sean considerados procedentes de un mismo cuerpo parental. Y aunque es condición necesaria, no es, sin embargo, condición suficiente, ya que hacen falta otros criterios texturales, mineralógicos y geoquímicos para alcanzar esa conclusión.

El oxígeno es el tercer elemento más abundante en el Sistema Solar y el más abundante en los planetas terrestres. En nuestro Sistema Solar se encuentran tres

isótopos de oxígeno, que estuvieron presentes en la nube molecular primigenia, producidos por distintos procesos nucleosintéticos: en estrellas en proceso de ignición de neón, en estrellas gigantes rojas de “rama gigante asintótica” (llamadas estrellas AGB), y en novae y supernovas².

El oxígeno, como se sabe, tiene número atómico 8 (tiene 8 protones en su núcleo) y sus tres isótopos tienen 8, 9 o 10 neutrones, por lo que sus pesos atómicos son 16, 17 y 18. El ^{16}O es, entonces, el ‘isótopo liviano’, y ^{17}O y ^{18}O se denominan ‘isótopos pesados’.

Su abundancia en la Tierra es $^{16}\text{O} = 99.757\%$, $^{17}\text{O} = 0,038\%$ y $^{18}\text{O} = 0,205\%$.

Estos tres isótopos no están uniformemente distribuidos en la superficie de nuestro planeta. Distintos factores (climáticos, o biológicos, por ejemplo) hacen que las proporciones relativas de estos isótopos varíen, es decir, den lugar a lo que se denomina “fraccionamiento isotópico del oxígeno”.

El isótopo más liviano, ^{16}O , tiende a moverse más rápidamente y a reaccionar químicamente a mayores velocidades que los isótopos más pesados. Por eso es que, por ejemplo, cuando el agua se evapora, el vapor de agua tiende a estar enriquecido en el isótopo más liviano, por su mayor movilidad, al mismo tiempo que el agua que permanece líquida se enriquece en isótopos pesados.

Los isótopos más pesados ^{17}O y ^{18}O son entonces los menos evaporables, y, cuando se evaporan, son los

primeros en volver a condensarse

Por la distribución de las temperaturas en la superficie de la Tierra, la mayor evaporación se produce en las zonas ecuatoriales y tropicales, y la tendencia general del vapor de agua es desplazarse hacia los polos. En su desplazamiento hacia las regiones frías las precipitaciones van progresivamente dejando caer primero las moléculas de agua que contienen los isótopos más pesados, por eso en las precipitaciones que alcanzan las regiones más frías, como Antártida o Groenlandia hay un menor porcentaje de isótopos pesados que en el agua oceánica.

El agua oceánica, en su circulación global, tiende a homogeneizar las proporciones isotópicas de oxígeno. Es por eso que el parámetro de comparación de proporciones de oxígeno se hace en función de lo que se denomina SMOW (por Standard Mean Ocean Water, es decir, el standard promedio del agua oceánica).

Para establecer las proporciones entre isótopos, por convención, se divide la cantidad de isótopo pesado por la cantidad de isótopo liviano. Como las cantidades de isótopos pesados son mucho menores que las del isótopo liviano, y el cociente entre ellas es muy pequeño, para trabajar con mayor agilidad con cantidades enteras, ese resultado se multiplica por mil. Es así como se obtiene el llamado índice δ (delta).

$\delta^{18}\text{O}$ es entonces la cantidad de ^{18}O dividida por la cantidad de ^{16}O y multiplicada por mil. Análogamente, $\delta^{17}\text{O}$