

**USO DE LOS METEORITOS EN LA ENSEÑANZA DE LA GEOLOGÍA Y LA ASTRONOMÍA:
Estudio de los meteoritos aplicados a la geología lunar, sus rocas y al origen de los planetas, en las
asignaturas de Geología y Astronomía de 3º de E.S.O y Bachillerato.**

*Using meteorites in teaching Geology and Astronomy: their application to lunar geology, to their rocks
and to the origin of planets at Geology and Astronomy subjects in third course of Obligatory
Secondary Education and "A" level.*

José Francisco Tortajada (*)

RESUMEN:

El uso de los meteoritos (Tectitas y Sideritos), lo aplicamos dentro de las asignaturas de Geología y Astronomía, como parte de las actividades prácticas usando objetos naturales y del espacio exterior.

ABSTRACT:

The use of the meteorites (Tektites y Siderites), in teaching is being applied in the subject of geology and astronomy, and is part of some of practical activities that we are carrying out with our pupils who are using objects of nature and from of interestellar space.

Palabras clave: Meteoritos, tectitas, sideritos, actividades prácticas, Astronomía.

Keywords: Meteorites, tektites, siderites, practical activities, Astronomy..

INTRODUCCIÓN

Durante los cursos 94/95, 95/96 y en el 96/97, en el Instituto de Bachillerato Complutense nos hemos propuesto tratar de forma monográfica y durante un mes, con nuestros alumnos de Astronomía, el estudio e investigación de la Luna y de los meteoritos, así como también aplicamos parte de este estudio, dentro de la asignatura de Geología de C.O.U.

De esta forma hemos estructurado nuestra actividad de estudio de la Luna, en varios apartados:

- 1.- El estudio de la superficie y accidentes lunares (caras visible y oculta)
- 2.- El estudio de sus características geológicas y de las rocas lunares.
- 3.- El estudio de las tectitas meteoritos *lunares* (?) y de otros meteoritos.
- 4.- El estudio de los movimientos lunares en la esfera celeste y alrededor de la Tierra y sus eclipses.
- 5.- La realización de fotografías de la Luna al telescopio, su filmación en vídeo y el tratamiento digital de las mismas
- 6.- La investigación de la atracción lunar sobre la Tierra y sus efectos.
- 7.- Exposición de los alumnos.

En cuanto al estudio de los meteoritos, hemos ampliado el uso de los mismos desde las tectitas con que lo iniciamos, a las octaedritas o sideritos y a otros tipos de meteoritos (condritas y siderolitos) tanto en Geología de COU (brevemente) como en

las asignaturas de Astronomía. Igualmente, en la asignatura de Astronomía, hemos unido estos temas al estudio de los cometas, debido a la enorme actualidad de la presencia del Hyakutake y del Hale Bopp: **Hyakutake (1996 B-2)** y **Hale-Bopp (1995 O1)**

En esta publicación, sólo expondré la sección que corresponde al estudio de los meteoritos en relación a la geología lunar, a la de las rocas de la misma, así como el estudio de las tectitas y de otros tipos de meteoritos.

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS
GEOLÓGICAS DE LAS ROCAS LUNARES**

En este sentido al no poder disponer de las rocas originales de la Luna, el profesor les introduce en la composición petrológica de la Luna (ver *Moores, 1986*) y ellos realizarán una actividad de estudio de rocas similares a las que existen en la Luna, aunque con muestras terrestres (Basaltos, Anortositas, Traquitas, Pumitas, Obsidiana negra, Peridotitas). Con ellas se les pide y propone que las describan usando una tabla como la indicada con el nº 1, que busquen los minerales que puedan reconocer en ellas, que observen al microscopio geológico preparaciones microscópicas de las mismas, para lo que se les proporcionan leves nociones de como interpretar su textura, sus minerales, etc. (p.ej.: reconocimiento de olivinos, plagioclasas, piroxenos, micas) y de su formación (textura porfídica y vítrea).

(*) Profesor del Instituto de Enseñanza Secundaria "Complutense". C/ Valladolid nº 1 CP.: 28804 Alcalá de Henares. Miembro de AAM (Agrupación Astronómica de Madrid) y AAS (Agrupación Astronómica de Sabadell).

Roca:	Color:	Textura:	Minerales:
Ej.1: Basalto	Negro	Porfídica	Piroxenos, anfíbios.
.....

Tabla n° 1

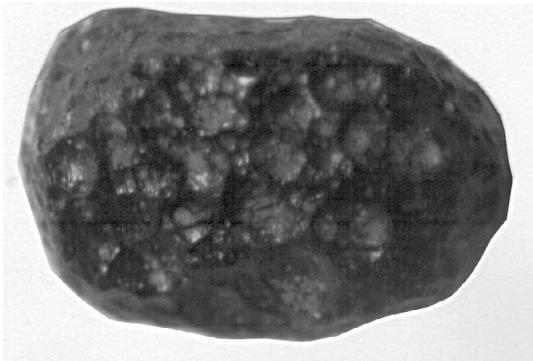


Figura 1. Tectita de Thailandia. Se observan los hoyos, resultantes de su ebullición, del golpe con otros meteoritos en la caída y la forma de “huso”. El brillante aspecto que presenta es el resultado de la fusión o vitrificación de la misma.

EL ESTUDIO DE LAS TECTITAS (METEORITOS?) LUNARES

Las tectitas constituyen uno de los pocos objetos extraterrestres¹, tales como los meteoritos, que en clase podemos estudiar con facilidad. Son un tipo de meteorito cuyas características y origen hacen pensar que tienen un origen lunar. Según otras interpretaciones son trozos de meteoritos formados como resultado del impacto de los meteoritos, pero sea en uno o en otro caso, serán objetos de origen extraterrestre o quizás sean incluso un remanente del origen del sistema solar.

Las hipótesis que buscan su origen en la Luna, se basan sobretodo en las tectitas de Thailandia, Java, Australia y Tasmania, que debido a la distribución en forma de “huso” de sus yacimientos, parecen todas las tectitas proceder en esta zona de un gran meteorito, procedente de un desprendimiento de material lunar, acaecido hace unos pocos millones de años. Hay sin embargo otros indicios en las mismas, que parecen rechazar su origen terrestre. Además las tectitas son muy fáciles de encontrar y muy económicas (de 100 a 400 pts. en tiendas de venta de minerales. Son casi siempre *Thailanditas*) y con ellas podemos estudiar rocas *auténticas* (aunque con un “interrogante: ?”) de la Luna. En cuanto al resto de los meteoritos que podemos usar, el precio es algo mayor pues varían desde las octaedritas de Gibeon (Sudáfrica) que valen desde 400 pts., a

los sideritos de Odessa (Texas, EEUU) que cuestan algo más de 800 pts., o las condritas cuyo precio puede iniciarse en unas 5.000 pts (ver al final algunas direcciones).

En este sentido observándolas en clase, dibujándolas y sobre ellas podemos estudiar su color y compararlo con el de la obsidiana negra que se les muestra junto a las mismas. También se les hace relatar cual es su textura (que es vítrea y muy evidente), se les pide que observen la superficie, que contiene *fosas* muy evidentes, como resultado de la ebullición de sus componentes al ponerse incandescentes a través de la atmósfera. Igualmente pueden presentar *bultos semiesféricos* o también pueden presentar o no forma aerodinámica y mostrar *arrugas* o huellas del desplazamiento del material superficial con respecto al interior al haber estado parcialmente fundidas. Finalmente se pueden observar algunos nódulos de óxidos o hidróxidos de Fe (que analizamos químicamente). Quemamos a la llama un trozo de su polvo y realizamos una preparación microscópica de la misma (es de cuarzo principalmente) para buscar detalles de su estructura.

<u>Tectita n°:</u>	ej: 2	.....
<u>Textura:</u>	Vítrea	.....
<u>Fosas?</u>	SI	.....
<u>Forma aerodinámica?:</u>	SI de huso	.....
<u>Fusión:</u>	SI	.....

Tabla n° 2:

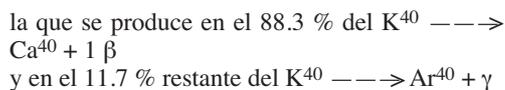
También observamos una preparación microscópica de la tectita (en las facultades de Geología las pueden realizar, aportando nosotros la muestra) así como también les podemos proyectar diapositivas de estos y otros tipos de meteoritos. Una simulación de estas preparaciones la podemos *fabricar* usando una diapositiva de estos meteoritos o de las rocas lunares de un libro, recortándola y pegándola a un cubre y un portaobjetos, a la que podemos acompañar la descripción de la ilustración (ver imágenes en bibliografía: Ciencias, colección de Salvat).

Igualmente, utilizamos las tectitas con los alumnos para que conozcan los métodos de radiodatación, para que conozcan como se aplica a un meteorito y apliquen las mismas mediciones y sus conocimientos (que en astronomía les damos de manera superficial), usando a tal efecto su proporción de potasio /argón ($K^{40}/Ar^{36}=340$, frente a 296 actuales, con un contenido de 1.79 % de K) pueden calcular su antigüedad entre 630.000 y 800.000 años (en el Pleistoceno medio, entre las glaciaciones Günz y Mindel), también aplicamos el método de Rb/Sr y el del U/Pb.

(1) Salvo que fueran de origen volcánico, algo que se planteará como una interesante polémica a los estudiantes. Los criterios a favor y en contra; se les explican y se les proporcionan documentos que les permiten juzgar por sí mismos.

ACTIVIDAD DE RADIODATACIÓN (Para hacer en COU)

En el caso de la desintegración del K^{40} , las reacciones son dos:



La manera de aplicar estos métodos, es una simplificación del sistema aplicado en los laboratorios de radiodatación en que aplicando los alumnos la ecuación siguiente, se calcula la antigüedad de la muestra:

$$t_{\text{transcurrido}} = 2 \times Pn \times T_{\text{periodo de semidesintegración}}$$

Pn = fracción de la unidad del isótopo inicial desintegrado

Suponemos que con las investigaciones realizadas, se ha obtenido ya la fracción del tiempo transcurrido con respecto al período de semidesintegración del isótopo, así para la desintegración del K^{40} , la cantidad de Ar^{40} producido indica un tiempo del orden de: 800.000 años; con lo que del K^{40} inicial se han desintegrado el 0,031% de sus átomos (del 11.7 % que se desintegra en Ar^{40}). Sabiendo que el $T_{\text{periodo de semidesintegración}}$ del K^{40} es de 1.270×10^9 años, se les pide que calculen el tiempo transcurrido.

Esto lo hacen aplicando la ecuación anterior, reflejando el 0,31% en fracciones de la unidad: 0,00031 y con ello calculan el producto de $2 \times 0,00031 \times 1270 \times 10^9$ que es igual a 800.000 años (siendo $Pn=0,00031$ y $T_{\text{periodo de semidesintegración}}$ del K^{40} es de 1.270×10^9 años).

En cuanto a la composición isotópica del Plomo, en las mismas indochinitas es la siguiente:

	Pb^{206}/Pb^{204}	Pb^{206}/Pb^{207}	Pb^{206}/Pb^{208}
T	18.83	1.199	0.482

Esta vez les pedimos dos cosas, en primer lugar partiendo del conocimiento del T de los tres isótopos del Plomo producidos a partir de los isótopos del Uranio, se les pide que estimen cual de los tres métodos es más adecuado a la edad estimada para estas tectitas. Usan para hacer esta selección los datos del cuadro que sigue:



La elección del isótopo a considerar, y por tanto medir, deberá ser el Pb^{207} , puesto que es el isótopo que se produce con un período de desintegración más breve de los tres, y que hay que relacionar con los 800.000 años anteriormente calculados. Este cálculo deberá ser coincidente con el usado para el Ar^{40} ; se les explica que de este isótopo se ha desintegrado (del U^{235} via 798.500 años, que es prácticamente la misma anterior.

$$2 \times 0,00056 \times 0.713 \times 10^9 \text{ años} = 798.500$$

(2) Según Ronov y Yaroshevsky (1969)

Evidentemente en ambos casos la cifra es coincidente (la he ajustado así para no crear dificultades, aunque los datos del K^{40} son exactos) y resulta de 800.000 años. Igualmente quiero hacer una importante anotación, es la de que el procedimiento que he usado es una **simplificación** del método usado en radiocronología y no puede ser aplicado en investigación, sólo en esta actividad con carácter educativo.

En cuanto a la composición de las Thailanditas es de 73 % de SiO_2 , 12,6 de Al_2O_3 , 4,7 % FeO , 2,4 de K_2O , 2,3 de CaO , 2,1 de MgO y con ella trabajamos el tema del posible origen lunar o no, o con qué tipos de rocas se asemeja, usando a tal efecto la siguiente tabla:

Composición de:	SiO_2	Al_2O_3	FeO	K_2O	CaO	MgO
La corteza ²	59.3	15.9	4.5	2.4	7.2	4.0
De la corteza:						
capa granítica	63.9	15.1	2.8	3.3	3.9	2.2
capa basáltica oceánica	49.5	17.1	6.8	0.18	11.7	7.2
Peridotitas (media)	44.5	2.7	6.7	0.01	2.6	40.9
Rocas:						
Granito (riolita)	70.8	14.6	1.8	4.2	2.0	0.9
Sienita (traquita)	62.5	17.6	2.7	5.2	2.3	0.9
Thailanditas	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Evidentemente las tectitas, del tipo de las Thailanditas, no se parecen a ninguna de las cuatro clases de materiales analizados, pero a los que más se parecen es a las rocas as sílice (SiO_2), es decir que les podemos hacer ver su semejanza con los vidrios volcánicos o con los granitos, muy ricos en sílice (>66%)

En la composición química de las mismas, es el óxido de silicio el elemento más abundante (en general en las tectitas es del 70-80 %) y le siguen en orden de abundancia los óxidos de aluminio (10 al 15 %), de hierro (2-5 %), de magnesio (0.6-3.3) y de potasio (1.5 a 3%). Con esta composición se pi-



Figura 2. Thailandita de 800.000 años.

de a los alumnos, que la comparen con la de las mismas rocas antes mencionadas: Gabro, Diorita, Obsidiana etc.), analizando las semejanzas y diferencias, sacando conclusiones de con qué rocas pueden emparentarse, etc.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS TECTITAS

A las tectitas se las considera *vidrios naturales*, pero en cuya superficie se presentan claras huellas de los efectos de la deformación aerodinámica, sufrida al atravesar la atmósfera altas temperaturas y grandes velocidades. Además se diferencian de otros vidrios de origen volcánico, por la ausencia de *microlitos*, por la existencia de inclusiones de vidrios silíceos y por la refringencia y birrefringencia que las hace también diferentes a las obsidianas.

Una de las observaciones más fáciles de hacer con las tectitas es la determinación de su densidad. Con ella podemos deducir otras de sus características de acuerdo a la siguiente tabla:

TIPO:	Color:	Dens.:	Ind.Refr.:	Descripción:
Tectita	Negro	2.3	1.47	Sin microlitos y con inclusiones
Obsidianas	Negro	2.3	1.4	Con microlitos y sin inclusiones.
Fulguritas	Gris	<2.2	1.46	Algunos microlitos e inclusiones
Impactitas	Variados: (b-negro)	<2.3	1.4-1.5	Muy heterogéneas y con fragmentos.

PRÁCTICA DE DETERMINACIÓN DE DENSIDADES

Se necesita una balanza y una probeta en que pueda introducirse el objeto a medir, con lo que obtendremos su volumen. Normalmente las tectitas que se adquieren en el mercado a bajo precio, son pequeñas del orden de 2 x 3 cm, con lo cual caben perfectamente en probetas graduadas de 250 \ 500 ml, frecuentes en los laboratorios. Midiendo el peso con una simple balanza y conociendo el volumen, los alumnos pueden determinar la densidad con una simple operación de división.

Concretamente las tectitas de Tailandia, tienen una densidad que varía entre 2,396 y 2,440 g/cm³. Para llevar a cabo esta práctica, es conveniente que se cuente con un número suficiente de las mismas (de 4 a 10 ejemplares), los alumnos realizarán las pesadas y después su medición volumétrica, reflejándose los resultados, en una tabla en la que incluiremos algunas rocas (lavas, obsidianas, traquitas, etc.), de las que también ellos medirán su densidad y volumen, así como algunos sideritos con que también les acompañamos las muestras.

Análogamente estas Tailanditas no son una excepción a lo normal entre las tectitas, conteniendo abundantes inclusiones (que son visibles a simple vista o en el corte al microscopio). Por eso pedimos a los alumnos, que observen con la lupa binocular su

superficie, buscando las inclusiones de otros materiales diferentes a la masa vítrea negra, de las mismas. Y lo deben de anotar en el cuadro, así como también se les puede solicitar que dibujen dichas inclusiones.

De hecho los alumnos al medir y representar el gráfico de las densidades de las tectitas y otros meteoritos utilizados, encuentran valores situados entre 2 y 2,62 g/cm³ (2, 2.25, 2.32, 2.35, 2.625), algo que al compararlos con las rocas terrestres proporcionadas en la práctica (Lava basáltica con huecos 2, Obsidiana 2.26, Traquita 2.3, Pumita 2.5, Peridotita 2.78, Diorita 3.13, y Gabro 3.3) hablan claramente del tipo de material con el que estamos tratando.

PRÁCTICAS CON SIDERITOS

Disponemos de algunas muestras de sideritos y de entre ellas es fácil encontrar (lo usamos) una octaedrita con estructuras de cristalización del Fe, típicas de estos meteoritos. Con ellas hacemos a los alumnos medir sus densidades (propias del Fe), les proponemos que las analicen y comparen con las

Tectitas (no poseen textura visible), se les pide que observen la superficie, y si contienen *fosas, bultos semiesféricos* o también forma aerodinámica, *arrugas* o huellas del desplazamiento del material superficial con respecto al interior, por haber estado parcialmente fundidas. Es decir, las mismas actividades que antes hicimos con las tectitas.

Con respecto a su composición, las octaedritas las comparamos con otras cristalizaciones que tenemos en octaedros (magnetitas, fluoritas, etc.) y pedimos que las comparen en sus densidades, su aspecto y estimen qué composición podrían tener, en función de sus observaciones. Una última observación es importante, pues debido a su enorme semejanza con las magnetitas se les plantea el tema del magnetismo terrestre, su origen basado en la composición de los materiales del núcleo de los planetas y si pudiera o no haber magnetismo en los demás cuerpos planetarios del sistema solar.

Finalmente se aplican las mediciones de radiodatación a estos meteoritos, pero en este caso usando el isótopo Pb²⁰⁷, que se suponen gastado hasta un porcentaje de la unidad del:

$U^{238} \rightarrow Pb^{206} \quad T = 4.53 \times 10^9 \text{ años} \quad 0.5/1$
consumido

El resultado evidentemente es de 4.530 millones de años, es decir es un meteorito contemporáneo a la formación del sistema solar.

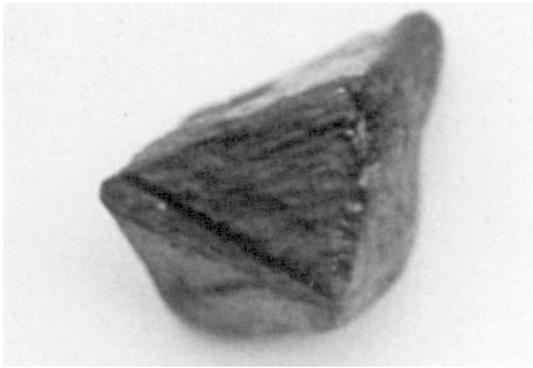


Figura 3. Siderito de GIBEON, Africa del Sur, encontrado en 1836. Se trata de una octahedrita de grano muy fino. Muestra las magníficas bandas del hierro cristalino, características de la octahedrita. Presenta alto contenido en Níquel.

CONCLUSIONES

Hasta este momento no hemos terminado toda la actividad del curso 1996/97, pero sí las partes que hicimos en 1996 y 1995, tal y como hemos expuesto y estamos desarrollando, pero la respuesta del alumnado es indudable, su motivación, asombro, ilusión y dedicación a esta labor muestra que así sí pueden aprender a aprender, y por eso propongo esta metodología práctica y de "simulación" o repetición de las investigaciones, como una de las alternativas a la enseñanza exclusivamente magistral.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, F. y otros (Grupo Azarquiel) (1987). *Matemáticas desde la Astronomía*. Ministerio de Educación y Ciencia y Ed. Vicens Vives, Madrid



Figura 4. Alumnos pesando meteoritos.

Cruz Conejo, Manuel (1988). *Cometas, asteroides y meteoritos*. Equipo Sirius S.A. Madrid.

Hoyle, Fred. (1984). *El Universo Inteligente*. Ed. Círculo de Lectores y Ed. Grijalbo. Barcelona.

Moore, Patrick (1986). *La Luna*. Editorial Debate. Madrid.

Salvat, Manuel (Director). (1968). *Enciclopedia Salvat de las Ciencias*. Tomo 8 de los Minerales. Ed. Salvat. Pamplona.

Trigo, J. M0. (1996). *Meteoros, fragmentos de cometas y asteroides*. Editorial Equipo Sirius S.A. Madrid.

Violat, J. y Sanchez P. (1991). *La Luna* (Estudio básico). Editorial Equipo Sirius S.A. Madrid.

ADQUISICIÓN DE METEORITOS

- Imilac Meteoritos. C/Ciudad de Laval, 10. 46700 Gandía (Valencia) (Telf.:96/2870473).
- Ferias de Minerales, como la del Instituto Tecnológico y Geominero (ITGM) que se celebra todos los primeros domingos de mes en c/Ríos Rosas de Madrid. ■