

## OBSERVACIÓN DE LA GEOLOGÍA DE LOS PLANETAS Y SATÉLITES DEL SISTEMA SOLAR

*Observation of the geology of the planets and satellites of the solar system*

José Tortajada (\*)

### RESUMEN:

*Se expone el procedimiento con que se lleva a cabo la observación de la geología de los planetas y de varios de los satélites del sistema solar; analizándolos con un tratamiento digital las imágenes, realizando un estudio de sus características geológicas, de su craterización, la formación de edificios y de estructuras volcánicas, el análisis de la geomorfología y para terminar hacemos el estudio de las formaciones producidas por el agua en Marte y Europa.*

### ABSTRACT:

*It is shown the way in which the observation of the geology of the planets and some of the satellites of the solar system is carried out; they are analyzed with a digital treatment of the pictures, studying their geological characteristics, their craterization, the shaping of buildings and volcanic structures, the analysis of the geomorphology and finally we study the formations made by the water in Mars and Europe.*

**Palabras clave:** Planetas, Marte, la Luna, actividades prácticas, astronomía.

**Keywords:** Planets, Mars, Moon, practical activities, astronomy.

### INTRODUCCIÓN

La incorporación de las actividades del estudio de la Geología Planetaria (o ciencia de estudio de las estructuras de las rocas, de su relieve, de los procesos magmáticos, volcánicos, etc.) las hemos estado introduciendo poco a poco, entre los contenidos y actividades de la enseñanza de las asignaturas de astronomía en los cursos de 2º y 3º de BUP y en los de 3º y 4º de E.S.O., así como también en la Geología de COU.

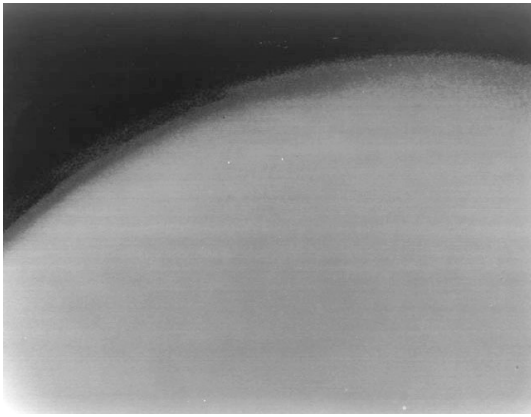
Evidentemente estamos hablando de una introducción a la geología planetaria y de alumnos de entre 13 y 18 años, así que lo que tratamos es de que a la vez que educamos a los alumnos en la enseñanza de una cultura general de la geología, esta la aplicamos a los planetas y satélites del S. Solar, consiguiendo de esta manera una motivación mayor ante la novedad, la actualidad de muchas noticias del tema, el aspecto atractivo del carácter astronómico de las mismas y ante la posibilidad de realizar sus propios descubrimientos.

Finalmente y como uno de los objetivos añadidos que nos propusimos para el curso 97/98, es la participación en algún concurso; este apareció en el entorno de la línea de Astronomy On-Line, como el concurso Sea and Space, que reuniendo a los estudiantes de Enseñanza Secundaria y de Primaria de toda la U.E. y a través de la Agencia Espacial Europea y del Observatorio Austral Europeo, propone para los estudiantes de menos de 13 años la elaboración de posters para describir la relación entre el Agua-Mar y el Espacio, que lógicamente enfocamos como el estudio e inves-

tigación del agua en el S. Solar, buscando el agua de los polos de Marte, sus nubes, las huellas de agua helada y/o líquida de Europa, que es lo que entre otras cosas aquí se relata; además trabajaremos este año el agua existente en Júpiter, en Ganímedes, Calixto, el agua en los cometas y por supuesto el agua en la Luna, gran descubrimiento corroborado por la sonda Lunar Prospector en 1998. En cuanto a los estudiantes de mayor edad, su trabajo para el concurso será la elaboración de una revista de la temática del concurso, con ellos hacemos la misma actividad, pero además trabajamos el agua en el Universo, el agua en las nebulosas, las estrellas, las galaxias y además después del Big-Bang.

El trabajo de investigación de la geología planetaria lo hacemos recogiendo las imágenes que en internet aparecen de las mismas, de hecho y con el motivo de la llegada de las sondas Clementine, Mars Global Surveyor, Mars Pathfinder y Lunar Prospector, aparecen muchas e interesantes imágenes en los servidores de la NASA; que como los demás recursos dispuestos por la agencia espacial norteamericana, en sus servidores de la Red Internet, son de uso público y gratuito, siempre que se utilicen en la enseñanza de la Astronomía y se citen sus fuentes. Igualmente podemos encontrar en la Red otras imágenes de la NASA, además de las de la ESO, que contienen imágenes anteriores a estas misiones de Marte, la Luna, Mercurio, las lunas de Júpiter (Io, Europa, Ganímedes y Calixto) y las lunas de Saturno, que son los objetos celestes que usamos en nuestras prácticas.

(\*) I.E.S. Complutense. C/Valladolid nº 1. CP.: 28804. Alcalá de Henares. E.mail (1996/7): jtortaja@roble.pntic.mec.es



*Titán, satélite de Saturno, en el que se puede observar la atmósfera de este satélite que mantiene una atmósfera de Metano. Cortesía de la NASA.*

El estudio de la Geología Planetaria lo subdividimos en el tratamiento digital de las imágenes captadas de estos planetas y satélites y en el estudio de sus características geológicas, tanto de aspectos de su craterización, como la formación de edificios y estructuras volcánicas, así como también realizamos el análisis de la geomorfología peculiar de cada objeto, el de las formaciones producidas por el agua en Marte y Europa y para terminar el estudio hacemos una observación directa con el telescopio de la Luna.

## 1.- TRATAMIENTO DIGITAL DE LAS IMÁGENES

El tratamiento digital o informático de las imágenes captadas de estos planetas y satélites, lo hacemos con el uso de las prácticas de teledetección espacial que aplicamos previamente a esta unidad y en nuestro centro. Para llevarlo a cabo con nuestros alumnos, usamos varios programas: LANDSAT, PAINTBRUSH, DELUXE PAINT, PHOTOSHOP, PRISM, etc. Pero para que estos programas admitan estas imágenes captadas de Internet, es necesario que sean compatibles con el software de tratamiento, y para modificarlas usamos un programa de transformación de unos formatos en otros (hay más de 18 tipos de imágenes, p.ej: GIF, BMP, TIF, PCX, etc.) aunque también podremos usar las utilidades que en este sentido tienen algunos programas para poder adaptarlas a su propio formato (p.ej.: PRISM y LANDSAT).

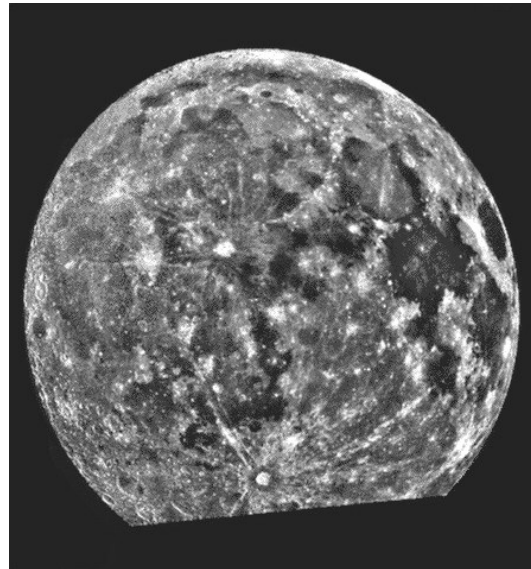
Un ejemplo de como se puede llevar a cabo el uso de la teledetección para enseñanza secundaria, se puede ver en citada en la bibliografía, en la revista de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, una experiencia del mismo autor, titulada Uso de la teledetección en la enseñanza de la Geología de la Tierra, la Luna y Marte.

Básicamente lo que en este apartado hacemos es enseñar a los estudiantes los rudimentos elementales para realizar un tratamiento digital de las imágenes, aplicado en este caso a los planetas, para detec-

tar después en ellos los detalles de la geología buscados, transformando los colores y los tonos de grises en otros más convenientes; por eso y una vez tratada convenientemente la imagen, pasamos a realizar su estudio geológico, bien sobre el monitor o imprimiéndolas en papel.

## 2.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

En primer lugar usando una imagen general del objeto celeste, la Luna o Marte, realizamos un tratamiento digital que nos acentúe las zonas que ocupan los mares de la Luna o las zonas polares de Marte, de las demás y el alumno sobre estas imágenes realiza una delimitación de estas áreas, dibujándolas sobre un papel vegetal y dando nombre a las más importantes por comparación con un atlas de la Luna o Marte. Para llevarlo a cabo recomendamos los libros que usamos de los mapas de la Luna y de Marte, del libro Estrellas y planetas de A. Rühl, y de la Luna el de Selenografía para aficionados de Julio Cesar Monge.



*Imagen en falso color de la Luna (que según el programa que usemos se observará o no directamente el falso color, como ocurre con Internet Explorer 4.0) En ella se observan con mucha claridad los radios o estrías de los derrames de lava de los cráteres de Copérnico, Tycho y otros, el color blanco azulado. Los mares aparecerán en azul y los relieves elevados como los cráteres o zonas con ellos, de color rojo. Cortesía de la NASA.*

### La Luna

En segundo lugar y utilizando varias imágenes de nuestro satélite, extraídas de Internet y del libro de La Luna de Patrick Moore, analizamos las estructuras de las cadenas montañosas lunares, las fallas, etc. y vemos un vídeo de la NASA sobre el

Apolo XVI, el único viaje en que estuvo en la Luna un Geólogo.

Usando las fotografías de la Luna, del libro Guía de Campo de las Estrellas y Planetas de los hemisferios Norte y Sur, de Donald Menzel, los alumnos identifican los rasgos principales de la Geología lunar señalando los nombres sobre las fotografías. Además se les proporcionan impresas en papel algunas imágenes de los polos lunares obtenidas por las sondas Clementine y Lunar Prospector, para que con ellas analicen el relieve y las zonas de sombra de estas zonas tratando de identificar donde es posible que hubiera hielo. Comparando después sus resultados con los de la propia misión espacial que encontró agua entre las rocas de estas zonas.

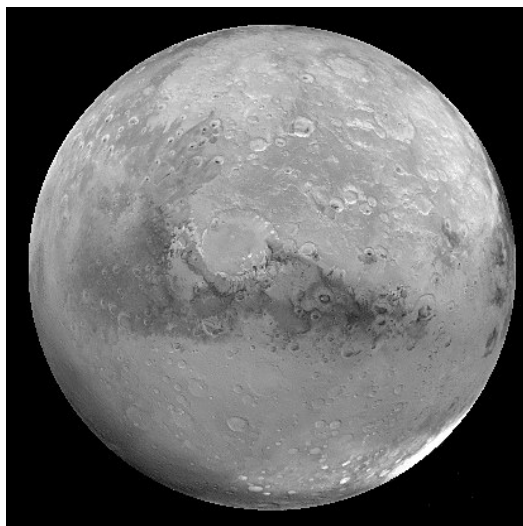
Para conocer mejor la geología lunar usamos también varias rocas de las que aparecen en la Luna, serán los Basaltos, Anortositas, Gabros Traquitas, Pumitas, Peridotitas, que estudiamos como si fueran lunares. Con ellas les pedimos y proponemos que las describan, que busquen los minerales que puedan en ellas reconocer, que las observen al microscopio geológico (sus preparaciones o en diapositiva) y se les proporcionan leves nociones de como interpretarlas (reconocimiento de olivinos, plagioclasas, piroxenos, micas) y de su formación (textura porfídica y vítrea).

### Marte

En el estudio general de la geología marciana, de nuevo hacemos uso de imágenes en papel de las zonas principales, en concreto usamos las imágenes del libro de Estrellas y planetas de A. Rühl, usando dos imágenes de los polos, en las que se aprecian claramente las zonas de los casquetes helados y una tercera de la zona del Monte Olimpo. En la primera se pide a los estudiantes que detecten las zonas de sedimentos formados por la descongelación del hielo (de agua y/o de CO<sub>2</sub>), las cuencas erosivas por ellos formadas, las zonas de cráteres de impacto cubiertas de sedimentos y las zonas de cráteres sin ellos; con estas observaciones se les pide que tracen un mapa geológico de los terrenos de los polos de Marte y después se someterán a comparación ambos polos, llevando a cabo un análisis de las diferencias y semejanzas entre ambos polos.

En la tercera de las imágenes se les propone que hagan un mapa geológico igual de simple, pero esta vez diferenciando los cráteres de volcanes, de los de impacto que se distinguen claramente por su apariencia en esta zona. De la misma manera han de identificar las zonas erosionadas por ríos y/o corrientes de lava.

En cuanto al uso informático disponemos de algunas de las primeras imágenes de la nave Mars Global Surveyor, para verlas se debe de cargar el programa de visionado de pantallas de internet (Netscape o Explorer) y con ellas se los alumnos trazan sobre la pantalla del ordenador un sencillo mapa, calcando las zonas de dunas, de valles, de depósitos de laderas, de la propia cuenca "fluvial" marciana o de su origen tectónico (p.ej.: en Nanedi



*Esta imagen de Marte, nos muestra la enorme cantidad de cráteres de su superficie, en un contraste y visión casi inigualable. Se distinguen bien algunos de los cráteres de impacto, como uno del centro que parece formar un "sinus" o golfo y los de tipo volcánico con aspecto de "grano", sobre el material oscuro del ecuador marciano. Igualmente se distingue muy bien el casquete polar helado, con cráteres llenos de hielo. Además arriba y en dirección contraria al polo helado, aparecen evidentes huellas de depósitos eólicos en los cráteres que han servido de obstáculo al viento marciano. Cortesía de la NASA.*

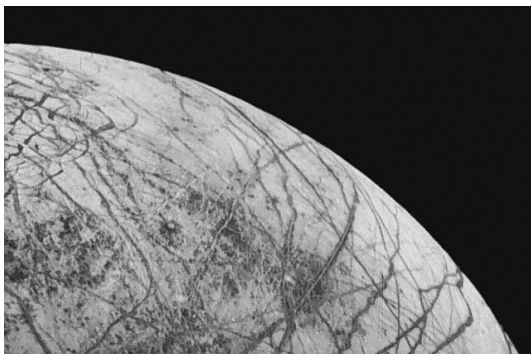
Vallis). No obstante desde abril de 1999 podremos encontrar muchas imágenes más, pues empezará la toma de imágenes nuevas, cada vez más cercanas, de este proyecto espacial y seguramente las encontraremos día a día en internet.

Igualmente hacemos con las imágenes de la Mars Pathfinder, con las cuales y observando la estructura del valle en que esta se posó, les haremos ver porqué esta zona es un valle al que se han transportado por arrastre las rocas, algunas famosas por sus nombres propios (p.ej.: Oso Yogui) con las que además analizaremos los datos de la composición de las mismas obtenidos con el espectrómetro, en comparación con las terrestres.

### Formaciones producidas por el agua en Europa

Un enorme interés han despertado las imágenes de la nave Galileo de Europa, en todo el mundo, descubriendo sus Icebergs de hielo de agua, que aparecen helados y con huellas de descongelación, flotando sobre un "mar de hielo"; icebergs que parecen haber flotado en el agua del mar interior de Europa; agua que ha aparecido en su superficie cargada con una sustancia roja, que creemos formada por bacterias del mar interior. Lo que hacemos con ellas es que traten digitalmente los alumnos a través del ordenador estas imágenes y con este resultado analizamos dicha imagen al detalle, opinando en

consecuencia los alumnos, sobre las posibilidades de que en este cuerpo exista agua líquida y vida, independiente de la radiación de la estrella: el Sol.



*Se observa la superficie helada de Europa, satélite de Júpiter. Esta superficie se encuentra muy agrietada y a través de ella fluye o afluyó el agua líquida, helándose posteriormente. Los alumnos deberán colorear modificando los colores, las zonas agrietadas o de fracturas y realizar zooms sobre las zonas de grietas mayores en búsqueda de posibles icebergs. Cortesía de la NASA.*

### 3.- FORMACIÓN DE LA CRATERIZACIÓN

El estudio e investigación de los cráteres de impacto, lo abordamos comparando los mismos entre la Luna y Mercurio. En cuanto a las bases teóricas para abordar su estudio las podemos encontrar en varios artículos publicados en la revista Universo, publicados por Alberto González y Enrique Rivas, en 1997 y 1998, de la Luna, Marte, Venus y Mercurio.

Nosotros abordamos este estudio, usando de nuevo imágenes en papel de los mismos; de esta manera de Mercurio podemos explicar, que en ellas los alumnos verán varias imágenes en las que son abundantes los cráteres con dobles anillos, además en ellas hay pocos cráteres de gran tamaño, con una tremenda cantidad de cráteres de impactos pequeños. La Luna, con la que comparamos a la imagen de Mercurio, posee más equilibrio entre el tamaño de los cráteres; igualmente alguno posee dobles anillos como el Mare Orientale, pero la mayoría no, pues lo que dominan son cráteres de un sólo anillo, bien con pico central o sin el; por lo demás analizamos también con las imágenes la gran diferencia existente entre los cráteres de la cara oculta y los de la visible, donde los mares son la dominancia, estudiando las razones de esta diferencia.

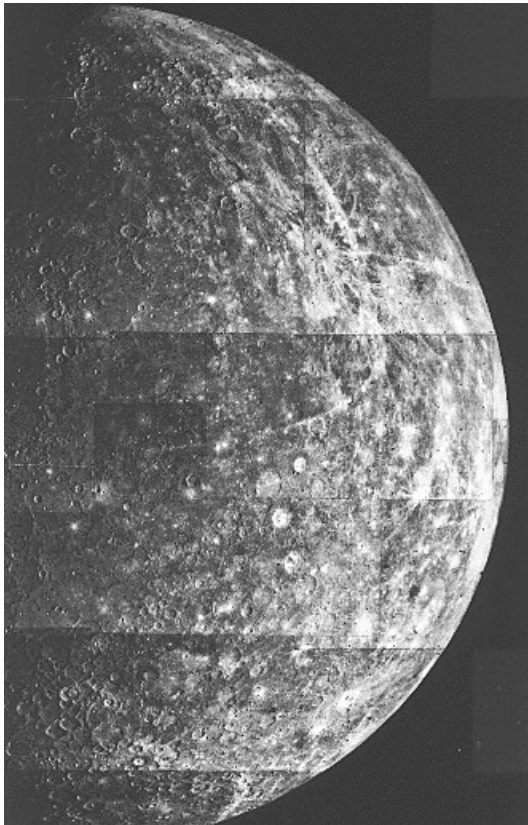
Para realizar la actividad, entregamos a los alumnos tres imágenes, una de Mercurio, otra de la cara visible lunar con los mares de la Tranquilidad, Serenidad, etc., y la tercera con el Mar Oriental y una zona próxima al mismo mar, pero de la Cara Oculta. Con ellas los alumnos hacen un estudio estadístico del tamaño de los cráteres, comparando las tres imágenes con las que sacan resultados y conclusiones con la ayuda del profesor.



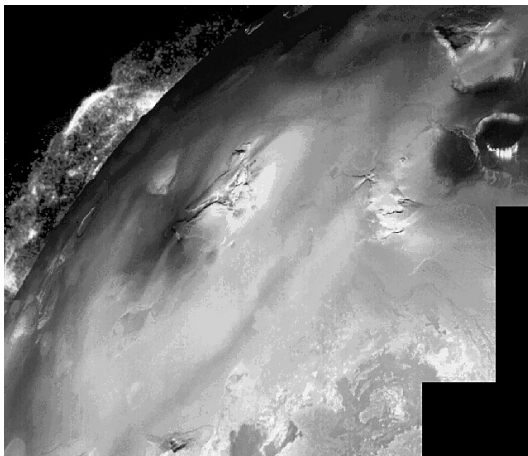
*En esta imagen se observa la Cuenca Caloris de Mercurio, con un cráter de múltiples anillos a la izquierda o a un lado, y una superficie muy craterizada, separada de mares a los que cubren más cráteres que los lunares. Cortesía de la NASA.*

### 4.- FORMACIÓN DE EDIFICIOS Y ESTRUCTURAS VOLCÁNICAS

En cuanto a la formación de volcanes, las imágenes más espectaculares las podemos encontrar en Io, su enorme actividad volcánica está siendo revelada por la sonda Galileo que entre las imágenes obtenidas el 4/4/1998 y el 19/9/1997, nos muestra el antes y el después de la aparición de una erupción volcánica (se puede ver en el ejemplar de marzo/abril de 1998 de la revista The Planetary Report), con esta imagen recién recibida, se observa con los alumnos la imagen en diapositiva; pero desde el punto de la práctica con ellos, lo que usamos son las fotos en papel y en soporte informático de las imágenes de Marte y de su gigantesco Olimpo, obtenidas por las misiones anteriores, además observamos otras imágenes de las estructuras geológicas de la Luna: del origen volcánico del valle de los Alpes, los cráteres volcánicos de los mares de la Serenidad y Hills y del cráter Hortensius sus preciosos domos, que se entregan a los alumnos en copias.



Una composición de imágenes de Mercurio, nos permite compararlo con la Luna, y descubrir su mayor craterización, casi de manera uniforme, la escasez de mares con respecto a la Luna y los gigantescos radios que en ella también existen. Cortesía de la NASA.



Extraordinaria imagen de Io, satélite de Júpiter, en la cual se observa la erupción de un volcán en el borde, que arroja a cientos o miles de kms., los gases y lavas de su erupción. Igualmente se observan varios cráteres volcánicos en su superficie con las corrientes de lava sobre ellos. Si se observa con Internet Explorer 4.0, la lava derramada en la superficie adquiere color blanco, a diferencia de los tonos oscuros de las sombras producidas por los valles a través de los cuales baja. El material azul del volcán principal, parece estar formado por los piroclastos arrojados a la atmósfera de Io y depositados en sus laderas. Cortesía de la NASA.



Del vuelo del Apolo 15, una imagen de los relieves montañosos de los Alpes Lunares, cruzados por valles de erosión de ríos de lava y a la izquierda una pequeña cantidad de cráteres de impacto, sobre un mar, formado con posterioridad a las montañas citadas. La descripción de la sucesión de los fenómenos acaecidos, nos permiten reconstruir una historia geológica lunar, sencilla, con esta imagen por la interrelación entre los sucesos en ella relacionados. Cortesía de la NASA

Los trabajos que esta vez realizamos con los alumnos, son en primer lugar: la realización de un tratamiento digital de una imagen del Monte Olimpo, para resaltar el borde de sus paredes inferiores de enigmático origen, quizás marino (?). Después con las imágenes lunares se comparan los cráteres volcánicos con los de impacto, se analiza el origen de cada una de las zonas citadas y finalmente se observan a través del telescopio estas estructuras lunares y su situación, así como las mencionadas anteriormente.

## 5.- OBSERVACIÓN NOCTURNA DE LA GEOLOGÍA DE LA LUNA

La observación visual lunar, la acompañamos con gran facilidad de la realización de fotografías; para llevarlas a cabo no se requieren largos seguimientos ni prolongadas exposiciones, salvo trabajando a grandes aumentos; por lo que con velocidades de 1/30 a 1/125 de segundo, hacemos con los alumnos la mayoría de las fotografías.

Una actividad muy interesante y útil que además podemos realizar, a la vez que la observamos y fotografiamos, es el dibujar lo que estamos viendo; los dibujos captan mejor que la placa fotográfica muchos detalles que sólo el ojo humano consigue observar, o bien sólo aparecen en fotografías de profesionales; así que con un sencillo bloc de dibujo, liso y un juego de lápices blandos podremos iniciar nuestros dibujos lunares y para sombrearlos deben de formar parte del equipo de observador lunar un carboncillo y un difumino.

¿Qué objetivos podemos tener al observar la Luna?

Para muchos aficionados a la astronomía la Luna es un objeto propio de principiantes, pero ¿conocemos la superficie lunar?. Creo que este puede ser uno de los objetivos más interesantes y fáciles para comenzar la afición a la astronomía, combinada con la de la geología, sobre todo en el ámbito escolar, por lo que merece la pena recurrir a su observación y conocer la superficie lunar. Algo que no hay que olvidar, es que los centros escolares, están en las ciudades y pueblos, pero en zonas iluminadas, y allí la Luna es un objetivo astronómico muy accesible, observable a pesar de las luces de las ciudades; para hacerlo solamente hace falta resguardarnos un poco de estas luces colocándonos detrás de un muro o del centro escolar y luchar además, porque se usen luces que no dañen la visión del cielo. Nos podemos resguardar por ejemplo detrás de una pared, de un muro o de una zona menos iluminada, donde podremos acostumbrar nuestro ojo a la tenue luz del cielo y a la visión con el telescopio y conseguir así, que los contrastes lleguen a ser casi tan buenos como en los lugares de buen seeing.

Para llegar a conocer esta superficie, la de la Luna, es muy útil y además necesario el preparar previamente la observación con atlas, posters o mapas lunares, previamente y antes de la noche de observación. Para preparar las actividades que queremos llevar a cabo podemos numerar nuestras observaciones una a una en un cuaderno, después describiremos lo que en cada actividad pretendemos observar, si además lo queremos dibujar, si en el objeto de nuestra observación habrá posibles variaciones en las sombras o de luz, etc. etc. Veamos un ejemplo de como lo haríamos, escogiendo un cráter como ejemplo óptimo:

nº 2.- El cráter Alphonsus se observa bien en el 8º día lunar. Contiene un pico central y en su fondo podemos apreciar con suficiente aumento, pequeños impactos y fisuras. Además contiene un macizo montañoso alargado y que brilla. Uno de los sucesos más interesantes, que podríamos observar en este cráter, es la aparición en el de posibles resplandores y vapores. Una de las estructuras para vigilar es un domo situado en la pared oriental del mismo, pues de él podrían salir estos vapores, que se suponen son restos de la actividad volcánica del interior lunar, activados por la atracción terrestre.

## OBSERVACIÓN DEL 8º DÍA LUNAR

Nuestro primer día de observación podría ser en el 8º día lunar, en este día observaríamos en el terminador el cráter Alphonsus (descrito más arriba), además de los de Arquímedes, Platón, Triesnecker y en este día podemos ver hasta 52 grandes cráteres,

cerca de el terminador del día 8º; además visibles desde el día o días anteriores tendríamos las montañas de los Alpes y los Apeninos, los cráteres de Linneo, Hyginus, etc. y una gran cantidad de mares, "sinus" (golfos) y montañas.

Aún más allá y hacia el lado contrario al del terminador, pero dentro de la zona iluminada, citaríamos a Fracastorius, Petavius y Langrenus entre los cráteres, entre los montes los Pirineos y las montañas Altai, como otras montañas menores.

Además podremos observar muchos de los mares que ya han aparecido, justo en el terminador están el mar de los Vapores (Vaporum), de las Nubes (Nubium), Imbrium, el mar Sinus Medii, además de otros mares situados lejos del terminador como Mare Frigoris, Palus Nebularum, Lacus Mortis, el mar de la Serenidad (Serenitatis), el mar de la Tranquilidad (Tranquilitatis), Lacus Somniorum, mar de la Crisis (Crisium), mar de la Fecundidad (Fecunditatis), el mar Austral, etc. Si nos interesa este hecho podemos ampliar la información en los libros de Monje, J. y de Patrick Moore.

## CONCLUSIÓN

Combinar el estudio de la geología, con la de la Luna, Marte y otros planetas y satélites del S. Solar, creo que es no sólo muy atractivo, sino un elemento integrador del conocimiento de nuestra área con los hallazgos más recientes y divulgados de la investigación espacial.

Hasta el presente en todas estas actividades los alumnos se han mostrado muy interesados, en especial en los nuevos hallazgos tanto de Marte, como del agua lunar o las posibilidades de vida fuera de la Tierra. Al igual que muestran una gran satisfacción y magníficos resultados en el trabajo con el ordenador dedicado a la repetición de trabajos de investigación propio de los profesionales de la geología y de la astronomía.

## BIBLIOGRAFÍA

Menzel, Donald. (1976). *Guía de Campo de las Estrellas y Planetas de los hemisferios Norte y Sur*. Ed. Omega. Barcelona.

Monje, Julio Cesar. (1991). *Selenografía para aficionados*. Ed. Equipo Sirius S.A. Madrid.

Monje, Julio Cesar. (1991). *La Luna*. Ed. Equipo Sirius S.A. Madrid.

Moore, P. (1988). *Cómo descubrir el Firmamento con Prismáticos*. Ed. Debate. Madrid.

Patrick Moore. (1986). *La Luna*. Ed. Blume. Sevilla.

Rükl, A. (1991). *Estrellas y planetas*. Ed. Susaeta..

Tortajada, José. (1977). Uso de la teledetección en la enseñanza de la Geología de la Tierra, la Luna y Marte. *Revista de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. Vol. 5, nº 1 de Junio. Girona.

Violat Bordonau, José C. (1996). *La Luna*. Ed. Equipo Sirius S.A. Madrid. ■