

Historia geológica de la Luna

Por *Simón Benguigui Levy* y *Miguel García Carrascosa*

PROCEDENCIA DE DATOS

Los astronautas del Apolo 14 toman muestras de rocas lunares en seis puntos de la cara cercana de la Luna. Poco después los ingenios rusos no tripulados Luna 16 y Luna 20 toman muestras en otros dos puntos.

En 1968 el vehículo estadounidense Surveyor 7 (no tripulado) analiza remotamente el suelo lunar, en puntos sencillos de las altas montañas meridionales.

* * *

Los comandos y módulos de servicio de los Apolos 15 y 16, llevaban instrumentos para hacer análisis químicos de rocas. El comando es el vehículo en el cual el tercer astronauta viaja en órbita alrededor de la Luna, mientras los otros dos astronautas exploraban la superficie lunar. El vehículo conserva una batería de sensible elementos entrenados en la superficie lunar. Entre ellos un detector de Rx secundarios, que capta los rayos emitidos por los elementos en el suelo lunar como resultado de la estimulación producida por los Rx primarios desde el Sol. Este detector diferencia entre Rx emitidos por el Mg, Al, y Si en el suelo lunar.

Otros instrumentos utilizados fueron: Detectores de Rayos Gamma, Fluorómetros del Rx y Magnetómetros orbitales.

Los astronautas también realizaron medidas de flujo de calor, medidas de la radioactividad en las zonas de alunizaje, medidas de la velocidad de las ondas sísmicas en la región del Océano Procellarum, y posteriormente se han seguido haciendo medidas gracias a las estaciones geofísicas dejadas por los astronautas en la Luna.

DATOS OBTENIDOS CON ONDAS SISMICA

La distribución de la velocidad de las ondas sísmicas en la Luna se ha obtenido a partir del estudio de los tiempos de recorrido y de la amplitud de las ondas sísmicas producidas por impactos artificiales en la superficie del satélite.

Estos datos reflejan la disposición química en capas y la composición aproximada de los 100 kms más externos de la Luna.

El rápido incremento de velocidad con la profundidad en los primeros 10 kms, puede atribuirse a un efecto de autocompensación.

La velocidad refleja la existencia de tres capas petrológicamente distintas:

- Capa de unos 25 kms de espesor con velocidad de compresión de 5,6 kms/sg (a baja porosidad). Esta capa se denomina Corteza Superior.
- Capa de 40 kms de espesor, con una velocidad de 7 kms/sg, es la Corteza Inferior.
- Manto con velocidad aparente de 8 kms/sg, también una capa de 20 kms con alta velocidad = 9 kms/sg. Esta capa puede también presentarse entre la Corteza Inferior y el Manto.

Comparando los perfiles de velocidad con medidas de laboratorio para velocidad de compresión en rocas lunares y terrestres, dan la principal roca que compone cada una de las distintas capas.

Las velocidades en la corteza superior varían entre los basaltos de los mares y las Kreep-noritas.

La corteza inferior, tiene una velocidad similar a la de los gabros terrestres y la de las anortositas.

La capa de alta velocidad inmediatamente inferior, es una amplia característica de la Luna. Por la velocidad se cree que puede estar formada por una variedad de la corteza inferior rica en Al y bajo una alta presión.

La velocidad del manto permite un amplio margen que va desde Dunitas y piroxenitas a eclogitas.

QUIMISMO Y MINERALOGIA DE LA LUNA

Los datos más directos de la composición de la Luna vienen de la química, mineralogía y supuesta petrogénesis de las muestras traídas de la superficie lunar.

También tienen gran importancia los experimentos de espectrometría de Rayos X y Rayos Gamma, realizados en vuelos orbitales alrededor de la Luna.

Por el análisis de las muestras lunares, se deduce que la superficie de la

Luna presenta los siguientes tipos de rocas:

- Mares basálticos ricos en Fe.
- Kreep-noritas: basaltos ricos en elementos radioactivos y elementos traza refractarios.
- Grupo Anortosítico.

Las muestras de basalto de los mares fueron recogidas de cuatro lugares cercanos de un mar. Estos ejemplares fueron sometidos a estudios experimentales de alta presión y temperatura. Los resultados obtenidos indican que los mares de basalto se formaron, probablemente, por fusión parcial en varios episodios y a profundidades que oscilan entre los 100 y 500 kms, en el Manto lunar compuesto por Piroxeno y posiblemente Olivino.

Para las Kreep-noritas, se han propuesto varios modelos de formación, incluyendo un pequeño grado de fusión parcial de una roca madre superficial y rica en plagioclasa. También una más extensa fusión de una corteza de plagioclasa, piroxeno y olivino, seguida de un fraccionamiento en cristal.

También se ha propuesto una posible fusión de los primeros kms de la corteza, rica en plagioclasa, por los impactos de meteoritos sobre la corteza lunar. Esta teoría parece la más probable (Green et al 1972).

El Grupo Anortosítico es un constituyente importante de las rocas de los páramos lunares.

Esto fue confirmado por los Apolos 15 y 16, por medio de fluorescencia de Rayos X. Así se vio que en estos páramos existían grandes concentraciones de aluminio en los feldespatos.

El origen parece ser una completa o casi completa fusión de las regiones más externas de la Luna.

POSIBLE CRONOLOGIA LUNAR

La datación de las muestras lunares por métodos radioactivos como: Rb/Sr y Ar/K (Papanastassiou et alii., 1970; Turner et alii., 1971; Husain et alii., 1972) han proporcionado un buen esquema de la actividad ígnea de la Luna.

Un esquema aproximado aparece en la figura II. El fraccionamiento de Rb/Sr requiere un episodio amplio de fusión y diferenciación muy cercano a la formación del satélite.

Gran parte de la corteza lunar puede datarse de este tiempo. Sin embargo, el intenso bombardeo de la superficie produce una refusión y brechificación de los materiales, pudiendo alterar la mayoría o todas las rocas de las primitiva corteza.

El registro de la actividad entre 4,5 y 3,7 miles de millones de años es

confuso y supuesto, pero se ha establecido alguna forma de actividad ígnea a 4,1 y 3,9 miles de millones de años (muestras de Apolo 14).

Los grandes mares lunares deben haberse formado en algún estadio de este intervalo (3,9-4,1 m.m.a.). La edad relativa de la excavación de los mares está, relativamente, bien definida, pero las edades absolutas son controvertidas. La datación del basalto de los mares da un estrecho margen de tiempo que va de 3,2 a 3,7 m.m.a. (Wasserburg y Papanatassiou, 1971). Las anomalías de gravedad atribuidas a mascons probablemente se originó en este tiempo. No se han encontrado rocas ígneas anteriores a los 3,2 m.m.a.; esto es importante, en cuanto a la historia térmica de la Luna, ya que si se ha dado fusión después, serían muy locales o confinadas a profundidades de varios cientos de kms.

HISTORIA GEOLOGICA DE LA LUNA: DIVERSAS TEORIAS

Tras los viajes Apolo, actualmente podemos diferenciar seis estados por los cuales ha pasado la Luna.

Estos estados o sucesivas etapas son:

- Origen de la Luna.
- Separación de la corteza lunar.
- Etapa temprana de vulcanismo.
- Período de bombardeo masivo por planetesimales.
- Segunda etapa de vulcanismo.
- Declinación de la actividad hasta el aparente estado quiescente actual.

El origen de la Luna es el estado sobre el que menos se conoce, las muestras lunares recogidas por los astronautas, han dado pocas indicaciones. Estas muestras han sido movidas tras su formación, no obstante, son parte del material originario que formó la Luna.

Conocemos ciertas cosas acerca del origen de la Luna.

Primero: La Luna y la Tierra se formaron en la misma región del Sistema Solar. Esta suposición está basada en la composición isotópica del oxígeno en las muestras lunares, la cual es distinguible de la del oxígeno terrestre.

El estudio de meteoritos muestra que las proporciones de los isótopos del oxígeno (16, 17 y 18) varían en las muestras de las distintas regiones del Sistema Solar. Esta observación nos limita muchas hipótesis acerca del origen de la Luna.

La Luna puede haber sido formada por fisión de la Tierra, o por acreción de pequeños objetos, que han sido trasladados en órbita alrededor de la Tierra.

El dato del oxígeno, sin embargo, da la posibilidad de que la Luna fue capturada (al decir capturada, nos referimos a que fue puesta en una po-

sición igual o parecida a la actual-NT.) por la Tierra después de haber sido formada lejos, posiblemente cerca de Mercurio o de Júpiter, o incluso fuera del Sistema Solar.

Segundo: Cuando las rocas lunares se comparan con las terrestres (los basaltos), o con los meteoritos, se ve que se encuentran disminuidas sistemáticamente en los componentes químicos volátiles. La disminución puede ser evidente si comparamos la abundancia de estos componentes en basaltos lunares y terrestres. Las diferencias de composición entre los basaltos sería un reflejo de la diferente composición de los materiales planetarios primitivos, de los cuales se han derivado los basaltos.

Los planetas terrestres (Mercurio, Venus, Tierra, Marte) corrientemente se entiende que se han formado por un proceso envolvente, primero por la condensación de pequeños granos minerales en una nebulosa gaseosa, que rodearía a un sol joven y segundo por acreción mecánica de granos minerales en los planetas.

Cuando la nebulosa inicial caliente se enfría, los minerales más refractarios se condensan primero. Incrementando los componentes volátiles habrían precipitado consecuentemente. Si la condensación y acreción se producen simultáneamente, ciertas circunstancias podrían haber "conspirado" a variar las proporciones variables de minerales de alta-baja temperatura condensando los diferentes planetas.

El descubrimiento de que la Tierra y la Luna contienen proporciones bastantes diferentes de elementos de alta y baja temperatura, hace pensar que la fraccionación ocurrió cuando los planetas estaban formados.

Las teorías acerca de la formación de la Luna como satélite de la Tierra, conocidas antes del Proyecto Apolo, pueden todavía ser consideradas.

En opinión de muchos científicos lunares, el modelo de acreción en la órbita alrededor de la Tierra, con ciertas variantes, es el considerado como el más correcto. El modelo de captura intacta presenta dificultades, en lo concerniente a la dinámica. La idea de la Luna fisionada de una temprana Tierra, también presenta dificultades. En el comienzo puede ser asumida una gran cantidad de momento angular (spin) después de la ruptura del sistema Tierra-Luna, con una cantidad de momento angular doble, podría ser siniestra, una cantidad tan grande como la que tiene ahora el sistema.

Parece preferible adoptar la hipótesis de la Luna acrecida, tal y como estaba en órbita alrededor de la Tierra, pero, ¿desde dónde han venido las partículas acrecidas? Estas partículas, probablemente, se condensaron en el sistema solar, y fueron capturadas subsecuentemente en una órbita alrededor de la Tierra. Resulta fácil capturar un gran número de pequeños objetos. Esta captura preformó la Luna.

Varios mecanismos naturales habrían atraído a las partículas, y éstas serían capturadas por la Tierra. Los gases nebulares habrían resistido y re-

trasado la captura de las diminutas partículas, o bien su moción, pero ¿un objeto tan grande como la Luna?

Otra hipótesis acerca del origen de la Luna, es la que habla de colisiones entre partículas. Aproximándose a la Tierra desde todas las direcciones algunas partículas habrían pasado alrededor en una dirección como la de las agujas del reloj y otras en sentido contrario. Las colisiones entre miembros de esas dos poblaciones habrían retrasado su velocidad de avance. Las colisiones habrían continuado, las partículas seguirían perdiendo velocidad y cayendo a la Tierra, o bien seguirían siendo lanzadas a órbitas próximas y tomando el mismo sentido de rotación. La Luna capturaría las partículas acrecidas.

Respecto a la evolución interna de la Luna, hay que hacer un stock de los distintos tipos de rocas encontrados en la Luna.

Aunque los astronautas de la misión Apolo tomaron gran número de rocas, todos los especímenes pueden ser incluidos dentro de uno de los tres siguientes grupos:

1.—Mares basálticos.

2.—Kreep Noritas (denominadas así por su bajo contenido en Potasio (K), elementos de las tierras raras (REE) y Fósforo (P).

3.—Grupo anortosítico.

Los mares basálticos constituyen la sustancia oscura de las mareas lunares o “mares”, los otros dos grupos forman las tierras altas o luminosas. Ninguno de los tres grupos pueden ser considerado por cualquier extensión de la imaginación, como muestras de material planetario primordial. Su abundancia de elementos produce un reagrupamiento de la abundancia de elementos metálicos, en la atmósfera del sol o en meteoritos condriticos, los cuales se consideran muestras del material planetario primordial.

Estos tres tipos de rocas han sido también encontrados en la Tierra. Está claro que los procesos ígneos en la Luna establecieron la composición de las tres categorías de rocas lunares.

El mar de basalto y la kreep norita, tienen características de composición de baja fusión y por consiguiente podemos decir que fueron producidos por fusión parcial en el interior de la Luna. Estos representan lo último de evolución de la Luna y serán discutidos más adelante.

Las rocas anortosíticas, sin embargo, tienen composiciones salidas, lejanamente, de los líquidos de baja fusión. Estas son producidas por el segundo tipo de procesos ígneos, o sea, la fraccionación del cristal.

Cuando un fundido ígneo comienza a cristalizar, los cristales formados, no tienen el mismo peso específico que el líquido residual. Si la cristalización no es rápida, los cristales densos tienden a hundirse, mientras que los más ligeros flotan.

Las rocas anortosíticas se caracterizan por la superabundancia de plagioclasas (Ca AL₂ Si 208). Es fácil describir la formación de este tipo de

roca por fraccionamiento de cristales en "charcos" de lava en la Luna. La dificultad está en que en la Luna hay gran cantidad de este tipo de roca, las cuales ocupan vastas extensiones.

Aparentemente, la Luna en su corteza y hasta una profundidad de 50-100 Kms es anortosítica. La fraccionación local en charcas de lava es un mecanismo inadecuado para explicar la formación de las rocas anortosíticas. Entonces, ¿cómo podemos decir que la Luna tiene gran abundancia en este material?

Después de todo, los astronautas de Apolo sólo tocaron y tomaron muestras en seis puntos de la parte más cercana de la Luna. También digamos que el ingenio ruso no tripulado, Luna 16, y el Luna 20 tomaron muestras sólo en dos puntos. En 1968 el vehículo americano Surveyor 7, no tripulado, analizó remotamente el suelo en un punto sencillo de las altas montañas meridionales.

Se pueden hacer consideraciones sobre la corteza hasta una cierta profundidad, pues aunque los astronautas no profundizaran, los primeros impactos lunares si lo hicieron. Las grandes cavidades formadas por los impactos, revelaron decenas de kilómetros de profundidad y dispersaron los trozos excavados, por la superficie. La mayor parte del material recogido por los astronautas es de este origen, y el material predominante es anortosítico.

Los astronautas de la misión Apolo dejaron en la Luna sismómetros, mediante explosiones deliberadas, las ondas producidas pasaban a través de distintos materiales, en el trayecto hacia las distintas estaciones sísmicas. Mediante esto se ha obtenido una escala de velocidades sísmicas de los distintos materiales.

Cuando distinguimos un modelo de estructura de la Luna, éste consiste en los tiempos de viaje o trayectos de las ondas sísmicas desde los distintos impactos hasta los sismómetros. Se encuentra que esto implica una discontinuidad física de la roca a una profundidad de 60 kms, por encima de esta profundidad las velocidades sísmicas son coincidentes con la de la roca anortosítica. Por debajo de los 60 kms. las velocidades sísmicas son más altas (aquí son de 8 kms/sg. mientras que en la anortosita es de 6,5 kms/sg.). La velocidad que se da por debajo de 60 kms de profundidad, es la típica de un material de alta densidad. Es de suponer que éste sea el material del manto lunar.

Si pensamos que la roca anortosítica sólo puede ser producida por fraccionamiento de cristales procedentes de un fundido que se enfría, y si las capas de anortosita tienen un espesor de más de 50 kms, se ve uno obligado a postular la existencia temprana en la historia de la Luna de una capa de magma, de una magnitud asimilable a la de un océano, tendríamos, pues, un océano de roca fundida, de aspecto blanco, que una vez cubrió la superficie lunar.

La actual corteza lunar debió separarse de este "infernado" océano cuando se enfrió. El acto de separación de la corteza fue la segunda etapa de la historia de la Luna.

Todos los planetas terrestres, incluida la Tierra, pueden haber pasado por una etapa similar, aunque los antecedentes de la corteza primaria de la Tierra fueron borrados hace gran tiempo. Probablemente la separación de la corteza lunar tuvo lugar en una forma temprana, después de la formación de la Luna.

Esta hipótesis no está claramente demostrada por la edad de las muestras anortosíticas lunares (datadas por métodos radiactivos).

Las edades de las muestras son de 4 mil millones de años, comparadas con una edad de 4,6 mil millones de años asignados al Sistema Solar y sus planetas. Las edades radiométricas probablemente no reflejan el tiempo en que se formaron las rocas de las tierras altas lunares. Los últimos acontecimientos energéticos han reducido la acción de los relojes radiométricos de las rocas.

La razón más fuerte para situar la separación de la corteza lunar al principio, es porque es más fácil demostrar entonces porque los estratos o capas de la luna podrían haber fundido. Si la acreción lunar procediera más rápidamente, entonces el valor sería disipado (se debe tener en cuenta que la acreción pudo haberse completado durante 1.000 años-N.A.). El valor resultante de los impactos podría haberse conservado y fundir los cientos de kilómetros más externos de la Luna.

Resulta difícil explicar una extensa superficie de la Luna fundiéndose en el último tiempo. La superficie, en un estado normal, al estar expuesta al espacio, se enfriaría.

La tercera etapa en la historia de la Luna es la separación de la kreek-norita.

El contenido del elemento mayor no es extraordinario, pero el contenido de cierto elemento menor, y huellas de elementos como: K, P, Ba, U, Th y Tierras Raras, es de 50 a 100 veces más alto que en las rocas anortosíticas lunares.

Como ya se dijo anteriormente, la kreek-norita tiene una composición de baja fusión y posiblemente fue producida por fusión parcial en el interior de la Luna.

Estudiando el diagrama de fases, aparentemente el lugar más apropiado para la formación de la kreek-norita fue la corteza anortosítica después de ser separada.

El elemento menor y las huellas de elementos en los que se encuentra enriquecida la kreek-norita, tienen bastantes iones (átomos en la estructura cristalina que han perdido o ganado electrones. N.T. y N. A.). Tales iones no tienen fácil acomodo en la estructura cristalina de los minerales mayores en las rocas anortosíticas. El resultado es que tales elementos

podrían haber estado entre los últimos a solidificar, cuando el sistema anortosítico enfrió, y podrían estar, asimismo, entre los primeros a ser removilizados, si fueron calentados otra vez.

La alta concentración de elementos de grandes iones está de acuerdo con la hipótesis de que la kreek-norita fue producida por fusión parcial de las rocas anortosíticas. Posiblemente el aspecto más complicado de la kreek-norita es localizar su ocurrencia en la superficie lunar.

Los detectores de Rayos Gamma en el comando orbital y módulo de servicio, notaron una alta concentración de elementos radiactivos en el área ancha del Mar Imbrium y Océano Procellarum, particularmente en los puntos donde los terrenos de las regiones altas, de coloración clara, protuberan a través de las franjas de mar basáltico que cubren el área.

Evidentemente, las regiones altas son de kreek-norita. Dicha norita aparece algún tiempo después de la formación de la corteza anortosítica de la Luna, pero antes que la erupción del mar basáltico, que ahora blanquea el área. Una lava de kreek-norita inundó esta sección de la Luna.

La fuente de calor necesaria para refundir parcialmente el material anortosítico de la corteza es todavía desconocida, ni es la razón de la erupción concentrada en un área.

Es tentador suponer que un brutal impacto planetesimal produjera la energía y una gran hondonada, pero un cráter tan grande como el Océano Procellarum podría haber producido surcos en la corteza en algunas áreas y habría promovido una fusión de masa en otras partes. Esto no habría producido el pequeño grado de fusión necesario para generar la kreek-norita.

El origen de esta roca constituye una de las más importantes y complejas cuestiones de la ciencia lunar.

La cuarta etapa en la historia de la Luna consiste en una época de impactos, por planetesimales mayores, en la superficie de la Luna.

Una descripción del origen del Sistema Solar implica la gradual acumulación de pequeñas partículas en el presente conjunto de planetas y satélites.

El primitivo Sistema Solar debería haber sido un lugar desarreglado hasta que los restos perdidos fueron inundándolo, al mismo tiempo que los restos bombardearon a los planetas jóvenes sin cesar. Las superficies con hoyos craterales de las tierras altas lunares presentan la existencia de esta primitiva barrera de proyectiles interplanetarios. Ello constituye el carácter de las rocas en las tierras altas lunares, la mayoría de ellas como brechas uniformes, aglomeraciones de minerales, y fragmentos de rocas. La pulverización de los impactos ha destruido toda evidencia textural que pusiera de manifiesto que las rocas antiguas de las tierras altas tuvieran en su origen cristales fraccionados o lava en erupción sobre la superficie.

Los impactos mayores no sólo fraccionaron las rocas, sino que también las calentaron. Un fuerte calentamiento de una roca, tiene el efecto de bo-

rrar todo vestigio isotópico que conservara del momento en que se formó, o sea, cuando fue dotada de la actual composición química. Diríamos que el reloj isotópico fue renovado.

Esta es la interpretación encontrada en las edades de las rocas de las tierras altas lunares. La edad de 4 mil millones de años a la cual tienen tendencia a apiñarse, no refleja el tiempo en que se formaron, hay una evidencia isotópica (de carácter un poco equívoco) que nos dice que tanto el material anortosítico como el norítico son de edad superior a 4 mil millones de años. Los violentos procesos, en cuestión, fueron los colosales impactos que excavaron las enormes brechas circulares en la superficie de la Luna. Los residuos resultantes de los impactos, blanquearon gran parte de la cara cercana de la Luna.

Muchas de las muestras recogidas en las tierras altas de la Luna deben haber estado implicadas en estos impactos y calentadas por ellos.

Aparentemente, una nueva población de planetesimales fue hallada perdida en el Sistema Solar hace 4 mil millones de años, resultado de un cataclismo surgido de los cráteres en la Luna y otros planetas. Es posible, también, que una actividad de los cráteres fuera más intensa aun en el período anterior a los 4 mil millones de años.

Puede ocurrir que la primitiva historia de la superficie lunar fuera tan violenta que la edad de las rocas fuera constantemente eliminada, hasta que tal actividad no declinó hace 4 mil millones de años, y fué cuando llegó la oportunidad de que tales rocas permanecieran indestruidas hasta nuestros días.

Después de la lluvia de planetesimales la Luna entra en la quinta etapa de su historia. En esta etapa, vastas coladas de lava erupcionadas sobre la superficie lunar, flotarían en las cuencas previamente excavadas por los impactos. La lava solidificaría, formando los oscuros planos que aparecen y que a simple vista son como "tiznaduras" de la Luna.

Los mares de lava no surgieron en una época de actividad volcánica, se fueron formando en el interior de la Luna en un período al menos de mil millones de años.

Como consecuencia de estos mares en la superficie, se formó un complicado complejo de corrientes de lava cubriéndola.

Los mares de basalto cambian de composición con la edad. Las muestras recogidas de edad mayor presentan alta abundancia en Titanio. Parece que fueron producidas por fusión parcial a una profundidad de 150 kms o más y que los basaltos menos titaníferos fueron generados a profundidades de 250 kms o más. La fuente de basaltos parece que fue hundiéndose con el tiempo. Este fenómeno puede explicarse por el hecho de que la superficie original cálida debió enfriarse como consecuencia de las radiaciones de calor al espacio, mientras que en el interior el calor crecía debido a la desintegración de los elementos radiactivos. El efecto total debió haber si-

do la emigración de la temperatura mayor hacia el interior, a través del tiempo.

La etapa final de la historia de la Luna es reposada. A través del tiempo los mares de basalto erupcionaban la densidad de los planetesimales mayores, en el Sistema Solar, habiendo caído tan bajo a la vez que los grandes impactos cesaban, los cuales habían sido contribuyentes importantes a la actividad superficial.

Las alteraciones internas y externas fueron disminuyendo durante el último capítulo de la evolución lunar. La corteza externa de frías y rígidas rocas —la litosfera— crecía con más espesor, a la vez que el calor se iba perdiendo de la superficie.

Masas de roca más o menos plásticas tienden a elevarse dentro de posiciones de equilibrio. Cuando tales movimientos son frustrados por la bruta fuerza del calor, las rocas rígidas y las masas densas son situadas en una posición alta innatural, tales masas causan irregularidades en el campo de gravedad de la superficie planetaria. Son anomalías de gravedad de signo positivo.

Antes del Programa Apolo ya era conocido que dichas anomalías estaban asociadas con las mareas circulares.

Actualmente la litosfera lunar ha crecido a un espesor de unos 1.000 kms. La profundidad de la transición de la rígida litosfera a la más interior, la astenosfera plástica, puede apreciarse por la conducta de las ondas sísmicas.

La presencia de tan poderosa capa blindada en la Luna, prohíbe absolutamente fracturas en la litosfera, empujando a las capas fragmentadas y el transporte de lava desde la astenosfera a la superficie, proceso que ocurre inversamente en la tierra, donde la litosfera es sólo de 70-150 kms de espesor.

La vitalidad de la Luna, actualmente, se ha retirado sólo a una pequeña zona central.

A todos los efectos como cuerpo que actúe en la escena de la actividad termal, química o mecánica en escala gigante, la Luna está muerta.

LA SUPERFICIE LUNAR

Vamos a hablar de la superficie, pues es la parte mejor conocida y quizá la más importante de la Luna.

Más de las tres cuartas partes de la superficie lunar están cubiertas por un paisaje de cráteres, de singular homogeneidad y uniformidad. El paisaje cubre la parte trasera y gran parte de la región frontal, conocida como tierras altas.

Hay gran diferencia entre el tamaño de los cráteres, no obstante son

distinguibles como elementos de construcción.

La extraordinaria uniformidad de la estructura de cráteres sugiere que fue formada en un corto intervalo de tiempo de la historia lunar, y desde entonces se ha conservado a través del tiempo.

La continuidad estructural y la densidad del cráter, así como la mayoría de las formas sin base de las construcciones individuales, implican que la superficie podría haber sido preconditionada y parcelada, y que en el último tiempo los cráteres fueron fijados dentro de la superficie preconditionada.

Los cráteres pueden haber sido formados por impactos meteóricos, o por actividad volcánica. Las opiniones que existen presentan cierta vaguedad sobre el predominio de estos dos procesos de formación, o respecto a la diferencia cualitativa entre cráteres meteóricos y volcánicos.

Se sabe que la anortosita es el mayor componente de las tierras altas lunares, y que consecuentemente la evolución térmica de la Luna debe haber incluido una fase líquida o parcialmente líquida de extensión global. La existencia de rocas ígneas es un hecho que pone de manifiesto una actividad volcánica en algún momento de la historia de la Luna, y es más importante que las teorías que pudieran sugerir una Luna fría.

Mantenemos la hipótesis de que los cráteres de las tierras altas fueron creados por una acción volcánica de acuerdo con el siguiente mecanismo: al enfriarse la Luna de su estado líquido original y una vez obtenida una superficie sólida, ésta se fragmentó por una reducción térmica y se obtuvo un aspecto agrietado en la superficie. Las grietas que separaban los fragmentos de la superficie no dejaron penetrar a lo largo de todo el camino a los líquidos bajo las capas, pero esto pudo ser más fácil por acción de las sacudidas sísmicas, sobre todo cuando las capas sólidas eran finas.

Las rocas lunares contienen pequeños porcentajes de gases disueltos como: CO_2 , S_2 , N_2 , parte de los cuales precipitan sobre la solidificación. Los gases fueron liberados en la interfase sólido-líquido y pudieron escapar originalmente a la superficie. La capa sólida fue engrosándose en una capa gaseosa, y desde entonces en la superficie lunar hay un estado altamente explosivo.

Si una onda sísmica consigue propagar un endurecimiento de grieta en el núcleo-magma, tendrá lugar una erupción, y el líquido y alguna masa líquida serán propulsados por la descarga de gas comprimido. Esta erupción es a su vez la causa de un choque sísmico secundario quien a su vez produce otra descarga volcánica en una grieta vecina.

Es posible que la superficie lunar, actualmente cubierta por cráteres, se produjera por una singular reacción en cadena.

Cuando el sistema de grietas es destruido por el proceso de erupción puede formarse un segundo sistema de grietas. Es dudoso saber si tal proceso puede repetirse sobre una base global, porque las ondas de la super-

ficie pueden ser difactadas por la forma del cráter, siendo necesarios muchos grandes choques para propagar grietas profundas.

En orden a la sustanciación de este proceso de formación, hay tres cosas necesarias:

- 1.—Determinación de las tasas de crecimiento de las capas de la superficie sólida y su conexión con el proceso de formación de gas.
- 2.—Determinar la medida media de los fragmentos contraídos, que deben tener una relación con la medida media de los cráteres.
- 3.—Obtener una idea de cómo las ondas interaccionan con las grietas y bajo qué condiciones las grietas pueden propagarse dentro del núcleo líquido.

BIBLIOGRAFIA

EOS, Vol. 59, n-1, enero 1978, "Comparasion of Mercury & the Moon".

PHISICS OF THE EARTH AND PLANETARY INTERIORS, Vols. 7 y 8, 1973-1974, "Internal constitution and evolution of the Moon", by Sean C. Solomon & M. Nafi Toksöz. "The origin of the lunar surface", by B. Steverding.

SCIENTIFIC AMERICAN, septiembre 1978, "The Moon", by John A. Wood.