

# CRÁTERES EN EL SISTEMA SOLAR: LA LUNA

Por Angel Ferrer  
Coordinador Sección Planetaria

La luna es sin duda el cuerpo celeste mas observado. Desde la antigüedad forma parte de multitud de leyendas y mitos. Muchos de los calendarios tienen su origen en la cambiante luna. Es el único objeto del sistema solar que a simple vista reconocemos algunas características de su superficie. Podemos observar una zonas claras (tierras) y otras mas oscuras (mares). Las tierras están acribilladas de cráteres mientras que los mares tienen muchos menos. Algunos astrónomos piensan que somos un planeta doble dado el gran tamaño que tiene la luna con respecto a la tierra. Es nuestra compañera inseparable y hoy se piensa que es nuestra hija, tras un parto catastrófico. (fig 1).

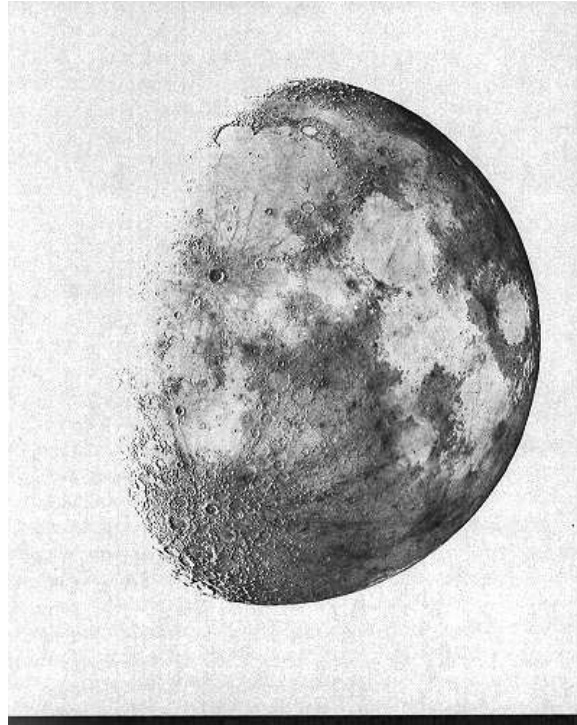


Fig 1

La Luna es el único satélite de la Tierra. Tiene un diámetro de 3.476 km. (la cuarta parte que la Tierra) y una masa de aproximadamente el 1%. Tiene una superficie de 38 millones de km<sup>2</sup>, lo que equivale al continente africano. La gravedad es la sexta parte que la nuestra y prácticamente no tiene atmósfera. La temperatura en su superficie varía entre los 100 grados sobre cero a menos 150 grados.

A simple vista se distingue una regiones mas oscuras y otras mas claras. Fue con la utilización del telescopio, cuando comenzaron a llamarse a las regiones oscuras, mares y a las claras tierras. Galileo descubrió unas extrañas formaciones circulares que le recordó primero los «ojos de un pavo real» y posteriormente los

cráteres de la Tierra. Fue el primero en describirlo en un libro llamado Sidereus Nuncius (Mensajero Celestial) en 1610.

En 1651 Giambattista Riccioli y Francesco Grimaldi, publicaron un mapa que establece la nomenclatura usada hoy en día: los cráteres son llamados con nombres de científicos y personajes famosos y las regiones oscuras (mares) como estados mentales (de los humores, de la tranquilidad, etc.). Dependiendo de lo bien o mal que les cayera, le asignaban un cráter mas o menos grande.

La Historia del estudio de la Luna esta ligada al debate de los orígenes de los cráteres. No se ha resuelto hasta hace pocas décadas, con el estudio

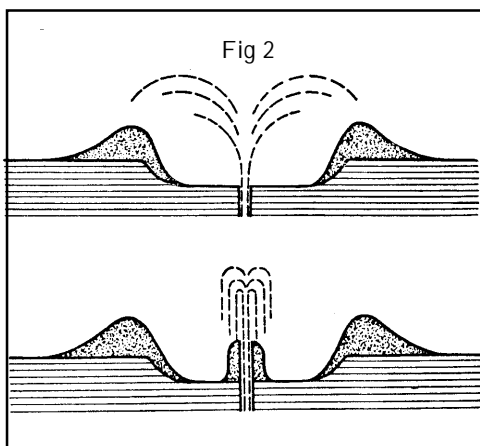
comparado con los cráteres de impacto terrestre y muestras traídas de la luna en los viajes Apolo. Había dos teorías: la teoría externa que tendrían un origen en los impactos de cometas y asteroides (a veces se llama teoría balística) y la teoría interna que tendría un origen de tipo volcánico o plutónico. También existen otras teorías mas originales como: los cráteres serían las murallas de las ciudades lunares o la teoría de Sixto Ocampo: en la luna existieron habitantes que llegaron a tener una civilización muy avanzada y desencadenaron una guerra atómica que acabo con la vida del astro, siendo los cráteres las señales de los impactos. También se dijo que los cráteres son como los atolones de las islas del Pacifico o bien, que son montañas de hielo recubierta de polvo.

Durante muchos años predominó la teoría volcánica. En el siglo XVII, Rober Hooke sugirió una superficie lunar en ebullición y los cráteres se formaron por las burbujas de gas que salían al exterior. La superficie se enfrió lo suficiente como para quedar impresos en la misma. Lo comprobó experimentalmente con la ebullición de una suspensión de polvo de alabastro con agua.

En 1865 los selenógrafos ingleses Nasmyth y Carpenter publicaron una obra sobre la luna y en ella expusieron su teoría volcánica sobre el origen de los cráteres. Según ellos, los hay que se formaron en un solo tiempo y otros en dos. En el primer tiempo

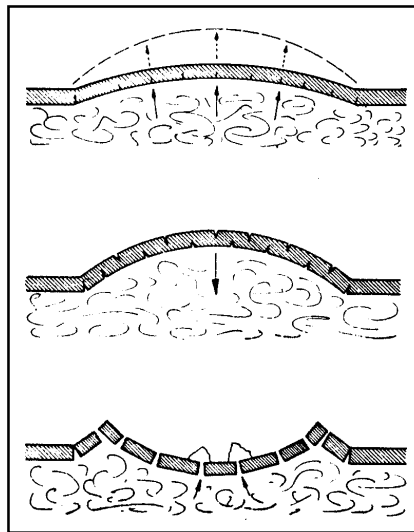
po, que es único en los que caecen de pico central, de la boca su gíe on materiales, con tanta intensidad que se amontonaron circularmente a gran distancia, formándose un anillo de montañas con un radio que a veces alcanza un centenar de kilómetros. Terminada la erupción, la misma lava borro el orificio de salida. En el segundo tiempo la erupción fue menos violenta y solamente se elevo una montaña central, mas o menos compleja. ( figura 2). Es una bonita forma de explicar los cráteres simples y los complejos.

Siguiendo con la teoría de las bur-

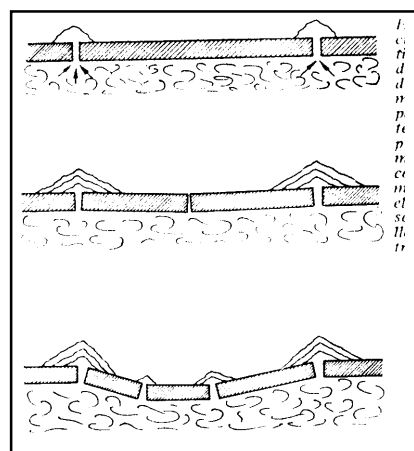


bujas de Hooke, el francés Puisseux y el italiano Sacco perfeccionaron la hipótesis, así como el español Joaquin Febrer. Vamos a describir la hipótesis de este último. Parte de la teoría según la cual la Luna se separó de la Tierra cuando ésta se hallaba aun en un estado pastoso y rodeada de una densa atmósfera. El fragmento desprendido, al hallarse en el espacio interplanetario, lejos de la atracción terrestre, tomó la forma esférica y empezó a girar alrededor de la Tierra. La poca masa del astro recién nacido no pudo retener la parte de atmósfera que se llevó de la Tierra y los gases se disiparon, quedando el satélite pastoso y en contacto con el vacío del espacio. Los materiales líquidos de la primitiva luna empezaron a hervir y se formaron burbujas de muchos kilómetros de diámetro y al evaporarse, baja la temperatura, lo que solidificó las marcas que dejan las

bu bujas al estalla . En la luna se pueden ap ecia algunas intumescencias que no son otra cosa que burbujas que no llegaron a estallar. (figura 3).



Hipótesis de fracturas , exudados y refusiones de Delmotte. Este ingeniero francés postuló la teoría de que la corteza lunar primitiva, al contraerse el núcleo de la luna por irradiación, se cuarteo, produciéndose dos sistemas de grietas perpendiculares entre si. Por las fracturas ascendió el magma interno, impelido por el peso de las fracciones de la corteza, y por el efecto de la marea producida por la Tierra. Este magma formó cordilleras que con mas material acumulado en los ángulos, tomaron formas mas o menos circulares o poligonales. En la figura se presentan las tres fases del proceso. (figura 4).



El español Alberto Barangé tiene otra teoría. Se basa en el mecanismo

de las corrientes convectivas subcorticales. Son corrientes que por la diferencia de temperatura, se originan debajo de la corteza en el sentido de subir por las paredes de un cilindro y bajar por el centro. Este movimiento de descenso provoca una absorción sobre la corteza, la cual se hunde lentamente y así se explica la formación de cráteres circulares. Según Barangé el calor se produce por materiales radioactivos a profundidades de 500 a 800 km. y se necesitarían unos 13 millones de años para su formación.

La teoría de impactos meteóricos, o teoría balística fue formulada por el astrónomo alemán Franz von Paula Gruthisen en 1848. La formuló una vez desechada la hipótesis de que eran baluartes defensivos erigidos por los selenitas, y tuvo en su momento un éxito parecido.

En 1876 el astrónomo inglés Richard Proctor propuso también la teoría del impacto, pero le pareció tan exótica que la rechazó en su libro dos años después.

Reginald Daly cree que la Luna se desprendió de la Tierra, y cuando aun estaba cerca, los volcanes terrestres, lanzaron proyectiles y formaron los cráteres.

Max Wholey supone la existencia de un planeta doble que circulaba entre las órbitas de Marte y Júpiter. Su componente mayor estalló en múltiples fragmentos, muchos de los cuales son los actuales asteroides y otros cayeron sobre el astro menor, que quedó señalado por los impactos. Este astro cambió de curso hasta que fue capturado por la Tierra y constituye la actual Luna.

1.892 el geólogo americano Grove Karl Gilbert conocía que fragmentos de meteorito se habían encontrado en la vecindad de una extraña formación llamada Cañon Diablo (mas tarde llamada Meteor cráter), en Arizona y estudió cómo un impacto puede ori-

gina un hoyo en el suelo. Llegó a la conclusión que el Cañon Diablo no se formó por un impacto sino por una explosión de vapor. En esa época no se conocían los mecanismos de impacto a alta velocidad. Él esperaba detectar un gran cuerpo meteórico férrico debajo del suelo de cráter. (no sabía que con el impacto, prácticamente se volatiliza) y los restos que encontró pueden ser debidos a pequeños fragmentos despedidos a su paso por la atmósfera. Aun así pensó que los cráteres de la luna se debían a impactos. No se explicaba la circularidad de los cráteres, pues estadísticamente los meteoritos caen con un ángulo de 45 grados y deberían dar un cráter ovalado. Pensó que se produjeron en épocas muy precoces, cuando el sistema Tierra Luna tenía un anillo de escombros que iban cayendo perpendicularmente.

Daniel Barringer, era un ingeniero de minas que pensó hacerse rico si encontraba el meteorito de hierro y níquel debajo del Meteor Cráter. En algunos libros al Meteor Cráter se le llama de Barringer en su honor. Alfred Wegener (1921), geólogo alemán, mas conocido por su teoría de la deriva continental, también defendió la teoría de impacto. Hasta entonces solo se sospechaban que eran cráteres de impacto algunos cráteres pequeños de pocos kilómetros de diámetro. 40 años mas tarde los geólogos americanos Jhon Boon y Claude Albritton escribieron un artículo sugiriendo que varias estructuras muy grandes, circulares, de la tierra eran en realidad cráteres de impacto muy erosionados y les llamaron astroblemas.

En 1949 Ralph Baldwin encontró similitud entre los cráteres de la Luna y los campos bombardeados de la 2ª Guerra Mundial. Estableció la relación entre el tamaño y la frecuencia de los cráteres con el tamaño y frecuencia de los asteroides.

El gran impulsor de la teoría de los

impactos de cometas o asteroides fue el geólogo americano Shoemaker. Fundó la sección de Astrogeología dentro de la Asociación Geológica Americana y estudio detenidamente el Meteor Cráter encontrando minerales desconocidos hasta entonces. Estudió la geología lunar centrada sobre el Cráter Copernico y determinó las grandes etapas en la geología Lunar: muy antiguas las tierras, los mares son mas jóvenes y muy jóvenes los cráteres con radios. La comprobación definitiva llegó del famoso cometa Shoemaker-Levy que sus múltiples fragmentos fueron chocando contra la atmósfera de Júpiter. Un pequeño cometa produjo grandes cicatrices en el gigantesco Júpiter durante varias semanas.

Hubo una descripción de un posible impacto en la luna. Sucedió la tarde del 25 de junio de 1.178 cuando 5 monjes británicos afirmaron haber visto una explosión en uno de sus cuernos. La crónica de Gervasio de Canterbury, considerada fiable, relata que «había una brillante Luna Nueva y, como es habitual en esta fase, sus cuernos estaban orientados hacia el este. De pronto el cuerno superior se abrió en dos; del punto medio de la división emergió una antorcha flameante que vomitaba fuego, carbones ardientes y chispas». En la cara oculta de la Luna existe el cráter llamado Giordano Bruno con un prominente sistema de radios que podría corresponder con el fenómeno descrito.

Hay varias teorías para explicar el origen de la Luna: se formó a partir de un disco de materia alrededor de la tierra; otros opinan que la Tierra giraba mucho mas deprisa y salió despedida una parte de su corteza. Otra teoría es que orbitaba alrededor del sol y en una aproximación a la Tierra la capturó. Hoy en día la teoría mas de moda es que la primitiva Tierra sufrió un colosal impacto por un cuerpo el doble del tamaño que Marte que arrancó parte de su corteza for-

mando un disco de materia que se coleccionó formando la Luna. Sabemos que la Luna se formó en la misma región del sistema solar que nosotros, que su composición corresponde aproximadamente con la corteza de la Tierra y que es unos 100 millones de años mas joven, concretamente 4.550 millones de años.

Los primeros años del sistema solar fueron muy violentos, con grandes colisiones, que dejaron profundos cráteres en su corteza. Uno de los mas importantes fue el Imbrium cráter, que dejó un gran anillo y numerosos radios brillantes. Posteriormente estos cráteres fueron rellenados por lava formando los actuales mares de la luna. Esta lava era muy fluida, de la consistencia del aceite y unido a la menor gravedad, cubrió grandes extensiones. La lava tiene un alto contenido de hierro, lo que la hace mas oscura. Los mares por tanto son primitivos cráteres de impacto que fueron recubiertos por lava hace unos 3.500 millones de años, constituyen el 18 % del total de superficie de la luna y la mayoría esta en la cara visible (35% de esta cara). Las tierras son las porciones no cubiertas por lava y por tanto mucho mas antiguas.

Una vez pasada esta primera época de alta frecuencia de impactos, estos se suceden mucho mas raramente, casi la décima parte, lo que explica que los mares tengan menos cráteres (son mas jóvenes y de una época con menos impactos). Los impactos mas recientes (menos de unos 1.000 millones de años) presentan unas estriaciones que son el material eyectado, en algunas ocasiones a miles de kilómetros. Estas estriaciones a modo de radios son muy brillantes, sobre todo con luna llena. La única erosión a la que se ven sometidos es a la formación de cráteres posteriores, y sobre todo a la acción directa del viento solar. Al no presentar procesos erosivos los cráteres en la Luna tienen una duración casi indefinida. Se puede establecer la antigüedad de

un terreno según la densidad de cráteres que presenta. Una formación geológica antigua esta sometida durante mas tiempo al bombardeo de asteroides y por tanto mas cráteres tendrá. Una superficie joven tendrá menos densidad de cráteres. Se puede establecer una cronología de la superficie lunar. Las tierras tienen una antigüedad siempre superior a 3.8 mil millones de años mientras que los mares tienen «solo» entre 3.8 y 3.2 miles de millones de años.

Las tierras están plagadas de cráteres de todos los tamaños hasta la saturación. Hay 29 cráteres de tamaño superior a 300 km.: 14 en la cara visible, 12 en la cara oculta y 3 a caballo entre las dos. Savage ha calculado que existen un millón de cráteres de mas de 300 m de diámetro y 4.000 millones de cráteres de 10 metros de diámetro. (No los vamos a ver todos, tranquilos). Las tierras están formadas por brechas de anortosita, en su mayor parte cristales de feldespato cálcico. También tiene piroxeno y olivino. Están muy fracturados como corresponde a minerales sometidos a múltiples impactos. Se diferencian también de las terrestres en su total ausencia de agua. El conjunto de estos materiales fracturados y restos de meteoritos constituyen el «suelo» lunar y se le ha bautizado con el nombre de regolita. La cristalización de estos minerales sucedió alrededor de 4.4 a 4.6 mil millones de años, y no hay casi ninguna tierra mas reciente de hace 3.8 mil millones de años.

Los mares de la luna son porciones de su superficie mas oscura, y le dan esa figura típica que recuerda una cara humana. (Fig 5). Constituyen el 35% de la cara visible y tienen forma aproximadamente circular. La superficie de los mares es horizontal, y en el límite con los continentes se aprecian formaciones como islas, continentes, bahías, etc. Los mares están constituidos por basaltos de origen

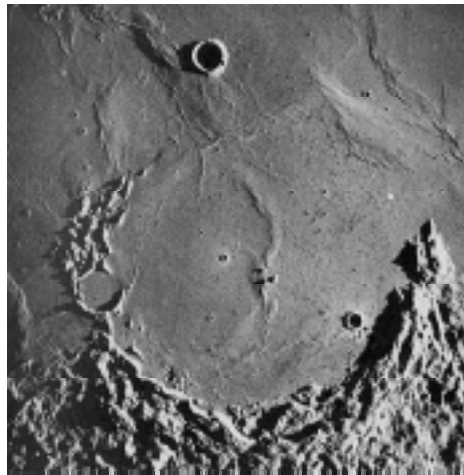


Fig 5

claramente volcánico. Se diferencian de los terrestres en que son mas ricos de hierro ferroso, titanio y magnesio y mas pobres en hierro férrico, elementos alcalinos y volátiles. La antigüedad de los cráteres que encontramos en el mar de la tranquilidad es de 3.7 millardos de años, en el mar de las lluvias es de 3.5 y en el océano de las tempestades de 3.3. Se puede decir que la superficie de la Luna estaba casi igual que la actual hace 3 mil millones de años y solo se ha modificado por pequeños impactos. Desde entonces no se detecta vulcanismo y es por lo que decimos que la Luna es un astro muerto. Hay autores que sostienen que duró hasta hace unos 1.000 millones de años y que incluso hoy en día persistiría algo de actividad. Se basan en los enigmáticos Fenómenos Lunares Transitorios.

Según estos datos se podría reconstruir las etapas geológicas mas importantes:

- Periodo Pre Imbrico: 4.6 mma (mil millones de años): Formación de la corteza lunar.
- Formación de los grandes cráteres de los mares. (4.5 a 3.85 mma): la corteza lunar es acribillada por grandes impactos.
- Periodo Imbrico: 3.9 a 3.2 mma. Los cráteres se inundan de lava y se forman los mares.
- Periodo Erastoteniano: 3.2 a 1 mma : Cese de actividad volcánica.
- Periodo Copernicano: 1 al mo-

mento actual. Impacto formado del cráter Copernico sus adios. Sin actividad interior.

Hay cráteres grandes, otros pequeños, los hay que esta cubiertos por mares total o parcialmente. Los hay muy fácilmente identificable y otros que están prácticamente ocultos por otros cráteres posteriores. Los hay que se les llama «fantasmas» por la dificultad de verlos debido a la escasa altura de sus paredes

En base al tamaño de los cráteres se pueden distinguir:

- Cráteres simples: son «pequeños», de diámetro inferior a los 10-15 km. Tienen forma de cuenco con un anillo sobreelevado y una base ligeramente cóncava o plana. La profundidad no suele exceder de la cuarta o sexta parte de su diámetro. La superficie a su alrededor es ligeramente rugosa con algunos cráteres secundarios. Suelen tener también algo de material eyectado a su alrededor. Estos cráteres no tienen pico central. (Fig 6).

- Cráteres de 20-30 km. de diámetro: Tienen un suelo llano y los muros con terrazas.

Cráteres de 30-100 km.: se empiezan a ver los picos centrales y las terrazas en los muros de las paredes. Unos de los mas bellos cráteres com-



plejos en la Luna es el de Tycho. Tiene 87 km. de diámetro con uno de los sistemas de radios mas espectaculares, extendiéndose a casi 3.000 km. de distancia. Por las muestras traídas por el Apolo 17 se le calcula una antigüedad de solo 107 millones de

a os. Dada su juventud se apreciaban la perfección el anillo, el suelo, los muros con varias terrazas y un material eyectado cubriendo un diámetro de 100 km., con numerosos cráteres secundarios. ( fig. 7).

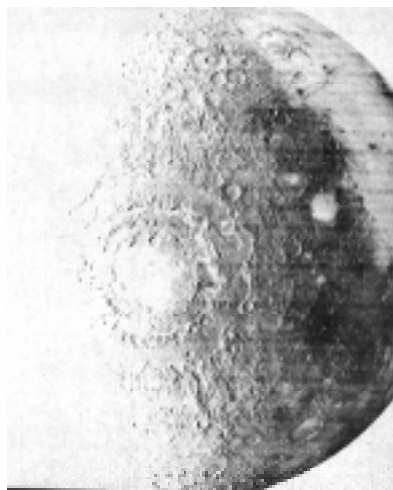


● Cráteres de 200-300 km. de diámetro: Los cráteres mayores empiezan a perder el pico central único y es sustituido por varios picos separados en el centro, como se puede apreciar en el cráter de Compton (185 km.). Si el cráter es mayor no tiene pico central sino que tiene un doble anillo como sucede con el cráter de Schrodinger de 320 km. (fig 8).



A partir de los 300 km. de diámetro se suelen llamar circos (basin). Como ejemplo de circo gigantesco tenemos el denominado circo Oriental. Es multianillo con un diámetro aproximado de unos 1.000 km. Es relativamente joven y se encuentra bien preservado. Se cuentan cuatro o quizá cinco anillos, incluyendo tres interiores y uno exterior al anillo principal. En el interior vemos porciones cubiertas por lava, y porciones profundamente fracturadas, con planos ondulados y rocas modificadas por el impacto. Se le calcula una antigüedad de 3.800 millones de años.

(fig 9).



Cerca del polo sur, en la cara oculta de la luna tenemos el mayor cráter de impacto conocido del sistema solar, es el llamado Aitken. Tiene cerca de 2.500 km. y esta muy erosionado por impactos posteriores. No originó un mar porque en la cara oculta de la luna la corteza es mucho mas gruesa que en la cara visible. (Casi todos los mares están en la cara visible). Algunos lugares de este circo están a unos 12 km. por debajo de la superficie media. Es justo en algunos de estos puntos donde puede que no de nunca la luz del sol y pueda conservar algo de agua.

Se pueden ver muy bien varios tipos de cráteres en la portada del suplemento del País del 22 de Marzo de 1998.

Así como los mares tienen su origen en un primitivo cráter no parece suceder lo mismo con el único Océano que tiene la Luna. Su origen lo desconocemos

Al contrario de lo que sucede con la Tierra, la luna tiene una superficie muy antigua. El 99% tiene mas de 2 millardos de años (la Tierra tiene solo el 5% de esa antigüedad). Al estar tanto tiempo sometida a los impactos grandes y pequeños (recuerdo que no tiene capa protectora atmosférica), se ha formado una especie de polvo en su superficie que llamamos regolita. Esta formada por una mezcla de rocas fracturadas y minerales

agumentados, cristales de varios tipos: volcánicos, secundarios a la fusión del impacto, también encontramos bolitas de metal casi puro, sobre todo hierro y hasta un 5% de fragmentos meteóricos. Forma una capa que cubre toda la superficie de la Luna con un espesor variable que puede ser de varios metros.

Dada la larga permanencia de los cráteres y la regolita, podemos pensar que la mas profunda sea la mas antigua y la mas superficial, sea la mas reciente. Nos podemos preguntar varias cuestiones que en la Tierra es muy difícil de responder: ¿La composición de los meteoritos ha cambiado? ¿Se puede demostrar un incremento de impactos cada 26 millones de años? ¿Ha cambiado la composición del viento solar? No podemos contestar a ciencia cierta. Con 300 kg de luna que hemos recogido con los vuelos Apollo de escasamente una docena de sitios, no podemos dar contestaciones. Hace falta recoger mas luna y analizarla.

No quiero acabar, sin comentar la posibilidad que en la parte mas profunda y sombría de los cráteres de los polos exista agua. Parece que se esta demostrando su existencia. Toda la materia volátil habría desaparecido en los primeros millones de años de la luna y también de los planetas terrestres. Estaban muy calientes y la gravedad no fue suficiente para retener un atmósfera. Impactos de cometas a lo largo de eones fue depositando agua y materia orgánica. En la luna se evaporaría rápidamente y solo se podría conservar algo, mezclada con la regolita, en los lugares muy fríos, donde no llegue la luz solar. De existir agua facilitaría la creación de colonias habitadas en la luna y da pie a la teoría que el agua de la Tierra tiene un origen cometario. Es decir que casi todo yo, que estoy constituido en un 70% de agua, fui en mi anterior reencarnación un cometa. (Josep Julia, seguro que tu fuiste un asteroide)