

## LA GEOLOGIA EN LA LUNA

Por FEDERICO MACAU VILAR

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos,  
de la Asesoría Geológica del Ministerio de  
Obras Públicas.

### I. Introducción.

Hablar de la "Geología de la Luna", o mejor dicho, de la *Selenología*, es quizá todavía algo prematuro, pero como se han dado ya no sólo los primeros, sino bastantes pasos en el conocimiento de la constitución mineral de nuestro satélite, bien puede decirse que la *Geología ya está en la Luna*, o que la *Selenología ya se estudia en y de momento desde la Tierra*.

Con el presente trabajo y dada la gran actualidad de todo cuanto a nuestro satélite se refiere, y a los estudios y preparativos que se realizan en orden a la futura y bien pronto inminente llegada del hombre a la Luna, nos proponemos simplemente hacer, para nuestros lectores, una ligera divulgación de los principales datos conocidos hasta ahora sobre estos temas y de los métodos empleados para su obtención; ilustrados con una reproducción de los primeros mapas geológicos o *selenológicos* (como creemos que deberán llamarse), acompañados de algunas de las últimas fotografías espaciales de la superficie lunar, obtenidas entre otros fines para esta clase de estudios.

Antes de empezar conviene, sin embargo, que aclaremos que con todas las reservas y sin pretensión alguna, dado que no se ha establecido aún ninguna nomenclatura especial adecuada al léxico lunar, nos permitimos insinuar en este escrito el empleo de algunos términos o vocablos nuevos, cuyo uso quizá algún día llegue a generalizarse, pero que por ahora, todavía no son ni siquiera "neologismos".

A título de introducción empezaremos por recordar que según las hipótesis y teorías, hoy en día más comúnmente aceptadas, la Luna fue una parte de la masa de nuestro planeta, que se desprendió del mismo a causa de la atracción provocada por el acercamiento de algún otro cuerpo celeste, probablemente un cometa, que se aproximó demasiado a la Tierra en los albores de su vida planetaria, cuando aún no había alcanzado ésta un estado de solidificación suficiente.

La gran fosa del Pacífico en la que falta una buena parte de la corteza terráquea, corresponde, según esta teoría, al lugar de donde fue, por decirlo así, succionada la masa que hoy forma la Luna.

Siguiendo estas hipótesis, como hemos dicho, generalmente admitidas pero aún no rigurosamente confirmadas, en principio, la mayor parte de la materia mineral que constituye el cuerpo de nuestro satélite, sería en su origen de la misma naturaleza de la que forma la corteza exterior de la Tierra, pero es evidente que desde entonces, las circunstancias externas operantes sobre ambas, no han sido ni con mucho las mismas, ni los procesos de evolución, metamorfismos, orogénesis, etcétera, etc.; se han producido en la Tierra y en la Luna bajo las mismas y posiblemente ni siquiera análogas condiciones.

La inexistencia, por ejemplo, de atmósfera, alrededor de la Luna (recordemos



Foto núm. 1.—Pitón rocoso erecto sobre la superficie de la Luna con su alargada sombra arrojada, poco después del amanecer lunar. Es interesante en esta fotografía, tomada y transmitida por el "Surveyor I", constatar la rugosidad de esta zona de la Luna puesta de relieve por la cantidad de sombras que en la misma se observan.

que la atmósfera lunar equivale sólo a  $1 \times 10^{-13}$  atmósferas terrestres), la priva, entre otras cosas, de la presencia del agua sobre su superficie, y, por lo tanto, de la acción de los fenómenos de erosión y sedimentación que tan importante papel juegan sobre la Tierra en el desarrollo de la Geología Histórica.

Por otra parte, si bien las rocas sedimentarias terrestres suponen sólo en volumen el 5 por 100 de los primeros 20 kilómetros de espesor de nuestra corteza, su extensión en cambio cubre el 75 por 100 de la superficie emergida de los continentes y, por tanto, aun cuando constituyen en realidad una capa muy fina de dicha superficie, resulta que la recubren casi por completo y a la escala humana, son su parte más visible y tangible. En la Luna lo más probable es que no existan ya restos de rocas sedimentarias, (si es que alguna vez las hubo), y, en consecuencia, tampoco puede haberlas de los correspondientes tipos de rocas metamórficas formadas a partir de aquéllas.

No es, pues, de extrañar, que en conjunto, el paisaje lunar resulte por completo distinto al terrestre y, en consecuencia, aun cuando el origen remoto de los materiales que forman la Tierra y la Luna sea el mismo, su estado actual ha de ser en su mayor parte sensiblemente distinto y el aspecto externo e incluso la textura que presentan los lunares han de resultar muy diferentes al de los que estamos más o menos acostumbrados a observar en los terrestres.

Pero antes de tratar de los materiales de la Luna, vamos a repasar a grandes rasgos las principales características fisiográficas que presenta su morfología externa.

## II. Selenología física.

Fue a partir del primer telescopio astronómico que construyó Galileo, allá por los primeros años del siglo xvii, cuando se empezaron a ver las formas superficiales del relieve lunar, y al propio Galileo se deben las primeras descripciones conocidas del mismo, en las que se habla prácticamente por primera vez de la existencia de altos picos, de abruptas montañas, de zonas más llanas, salpicadas con gran profusión de sus típicas formas circulares con diámetros de todos los tamaños, rebordeadas a su vez de sierras muy escarpadas, etc., etc. También se señaló ya entonces que en el centro de estos círculos, casi siempre se encuentran erectos y puntiagudos pitones que con sus alargadas sombras arrojadas nos sugieren la idea de enormes relojes de sol, cuyos cuadrantes resultan cubiertos por un cierto material, en general de tonos más oscuros, que a menudo rellena todo el interior de estos grandes círculos (foto núm. 1).

Gracias a la visión del paisaje lunar obtenida con aquellos primitivos telescopios se pudieron confeccionar los primeros mapas fisiográficos de la Luna, más o menos rudimentarios al principio, pero cuya perfección ha sido pareja a la de los aparatos disponibles. Siguiendo por este camino, en 1878 se publicó, en Berlín, un mapa de la Luna, sin duda el mejor de todos los aparecidos en los siglos xvii, xviii y xix, cuyo autor, J. Schmidt de Atenas, tardó más de treinta años en su realización. En este mapa, que mide 1,83 m. de diámetro y está dividido en 25 secciones, figuran 32.856 de los llamados cráteres lunares, individualizados tras miles de dibujos hechos con el empleo del telescopio de 152 mm. de Atenas, después de múltiples observaciones realizadas durante las diversas fases de la Luna, aprovechándose de la circunstancia de que en cada una de ellas se va presentando su superficie, iluminada bajo ángulos muy variados y distintos.

Con la Luna llena, por ejemplo, apenas se aprecia sombra alguna, por lo que casi llegan a desaparecer la mayor parte de los detalles más conocidos, pero en cambio adquieren su máxima visibilidad los diversos sistemas de radiaciones que presentan muchos de los antes mencionados cráteres lunares. En cambio, durante los cuartos menguante y creciente, la zona límite de iluminación de la superficie lunar, va atravesando la parte central de la cara visible, y las regiones adyacentes van que-

MAPA FISIOGRAFICO DE LA LUNA

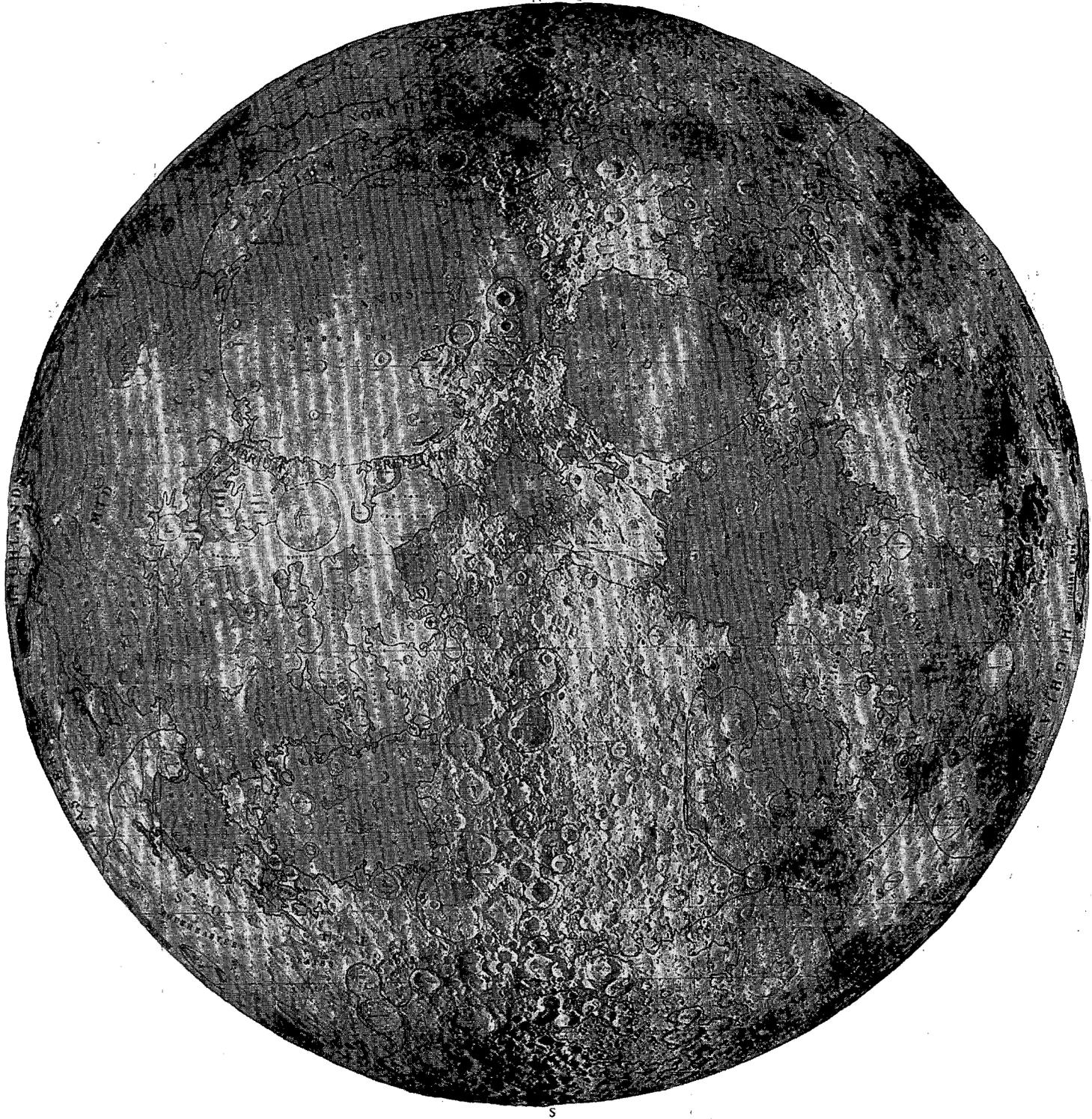


Figura 2.<sup>a</sup>

dando, sucesivamente, iluminadas oblicua y distintamente, con lo que, aunque las sombras arrojadas tapen muchos detalles, hacen destacar, sin embargo, en gran manera el relieve superficial contiguo.

Por todo ello se comprende que para obtener un dibujo completo de la morfología lunar (fig. 2.<sup>a</sup>) se necesiten coordinar una gran cantidad de observaciones de un mismo lugar, realizadas a lo largo de las diversas fases lunares, en las que estos accidentes de su relieve van siendo iluminados cada vez con distintas oblicuidades.

Hoy día, además de la observación directa realizada por medio de los más modernos y adecuados tipos de telescopios, se cuenta, para el estudio de la superficie de la Luna, con otros medios de gran eficacia, como son las fotografías, tanto las obtenidas directamente desde la Tierra por medio de los telescopios, como las espaciales, transmitidas por los diversos vehículos espaciales y por los satélites artificiales lanzados para su exploración, y, finalmente, con los métodos del análisis espectrográfico, que se han empezado a utilizar, se espera, en un futuro inmediato, llegar al conocimiento incluso de la composición química de los diversos materiales presentes en la superficie de nuestro satélite.

A partir de estas fotografías espaciales, algunas de las cuales (amablemente cedidas por la N.A.S.A. después de permitirnos su selección entre las colecciones de sus archivos de Washington), reproducimos en este trabajo, aparte de su aplicación fotogramétrica, con la que ya se han cartografiado los primeros mapas topográficos de su relieve, con precisiones altimétricas del orden de los 100 m., mediante la aplicación de las técnicas de la foto-interpretación, podrán obtenerse, y de hecho ya se han obtenido, una gran cantidad de datos de indudable valor práctico y científico, y aun cuando al aplicar a este tipo de interpretaciones las normas a que estamos acostumbrados en el desarrollo de la fotogeología aérea, es evidente que deben de tenerse en cuenta las particularidades de la Luna (otra vez la falta de atmósfera contribuye a que las cosas de la Tierra no sean directamente asimilables a las de la Luna), no cabe duda que a partir del estudio de la luz reflejada por ésta, del de las sombras producidas y del de toda la gama de grises que presentan, se pueden perfilar y sintetizar interesantes datos estructurales e incluso litológicos de gran valor, tales, por ejemplo, como la naturaleza de dichos materiales, la existencia y desarrollo de ciertas líneas de fractura, la de los diversos sistemas de fallas, su cronología relativa, etc., etc., imprescindibles muchos de ellos para la preparación de la futura llegada del hombre a la Luna, y el desarrollo del subsiguiente programa de investigaciones a realizar "in situ".

La serie de fotografías, núms. 3, 4, 5 y 6, obtenidas por el "Ranger IX", son una muestra del grado de precisión y detalle que con ellas se pueden obtener. En la primera de ellas aparecen los cráteres llamados Hisparco (H), Ptolomeo (P), Albatenio (A), y Alfonso (Al). La línea blanca corresponde a la proyección de la trayectoria seguida por el Ranger IX, desde la toma de la fotografía núm. 3 hasta la número 6, última retransmitida 55 segundos antes de su caída sobre la superficie lunar.

La resolución de un telescopio de 152 mm., como por ejemplo, el citado de Atenes, es de 0'75", de modo que las fotografías espaciales obtenidas y retransmitidas por los satélites exploradores lanzados a la Luna en estos últimos tiempos, han superado con mucho al mapa de Schmidt y se calcula que la obtención de un dibujo detallado, realizado a partir de la observación directa, equivalente a cualquiera de estas fotografías, requeriría del orden de unas mil horas de trabajo, o sea, prácticamente, cerca de cinco meses. Además, como ya hemos indicado en otras ocasiones, un mapa es siempre el resultado de una labor más o menos personal, en el que se representa sólo lo que sus autores quieren o pueden, mientras que en las fotografías queda registrado todo cuanto aparece sobre la superficie fotografiada, pero, como hemos también indicado en otras muchas ocasiones, el empleo de la fotografía no

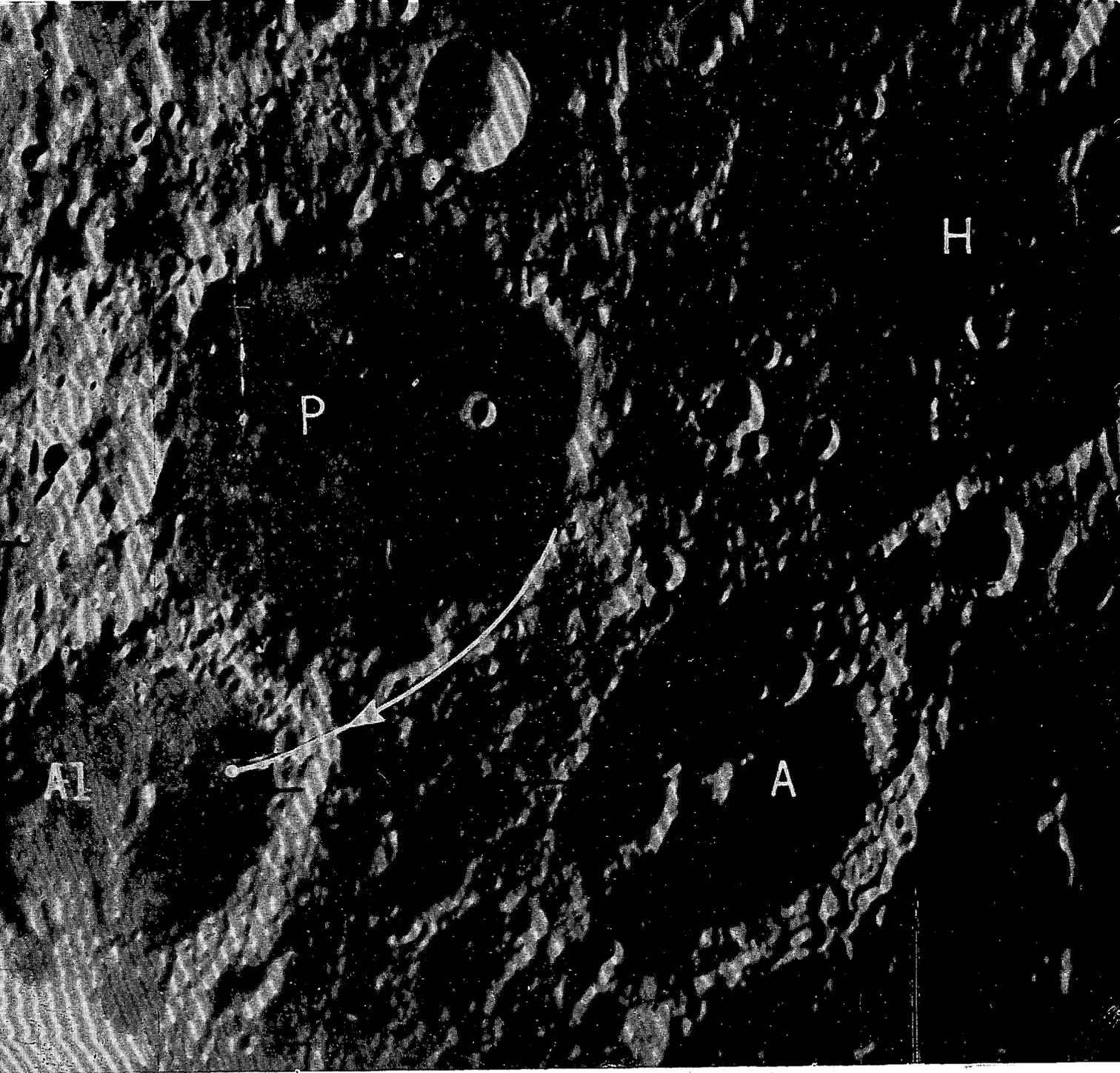


Foto núm. 3. — Fotografía tomada por el "Ranger IX" el 24 de marzo de 1965, dieciocho minutos antes de su caída sobre la superficie lunar, a una distancia de ésta de unos 2.365 Km. La línea blanca corresponde aproximadamente a la proyección de la trayectoria del "Ranger IX", durante la cual fue transmitiendo sucesivas fotografías de la superficie lunar, de las cuales hemos seleccionado ésta y las tres siguientes. Los cuatro cráteres que en ella se observan, son: H, Hisparco; P, Ptolomeo; A, Albatenio, y Al, Alfonso.

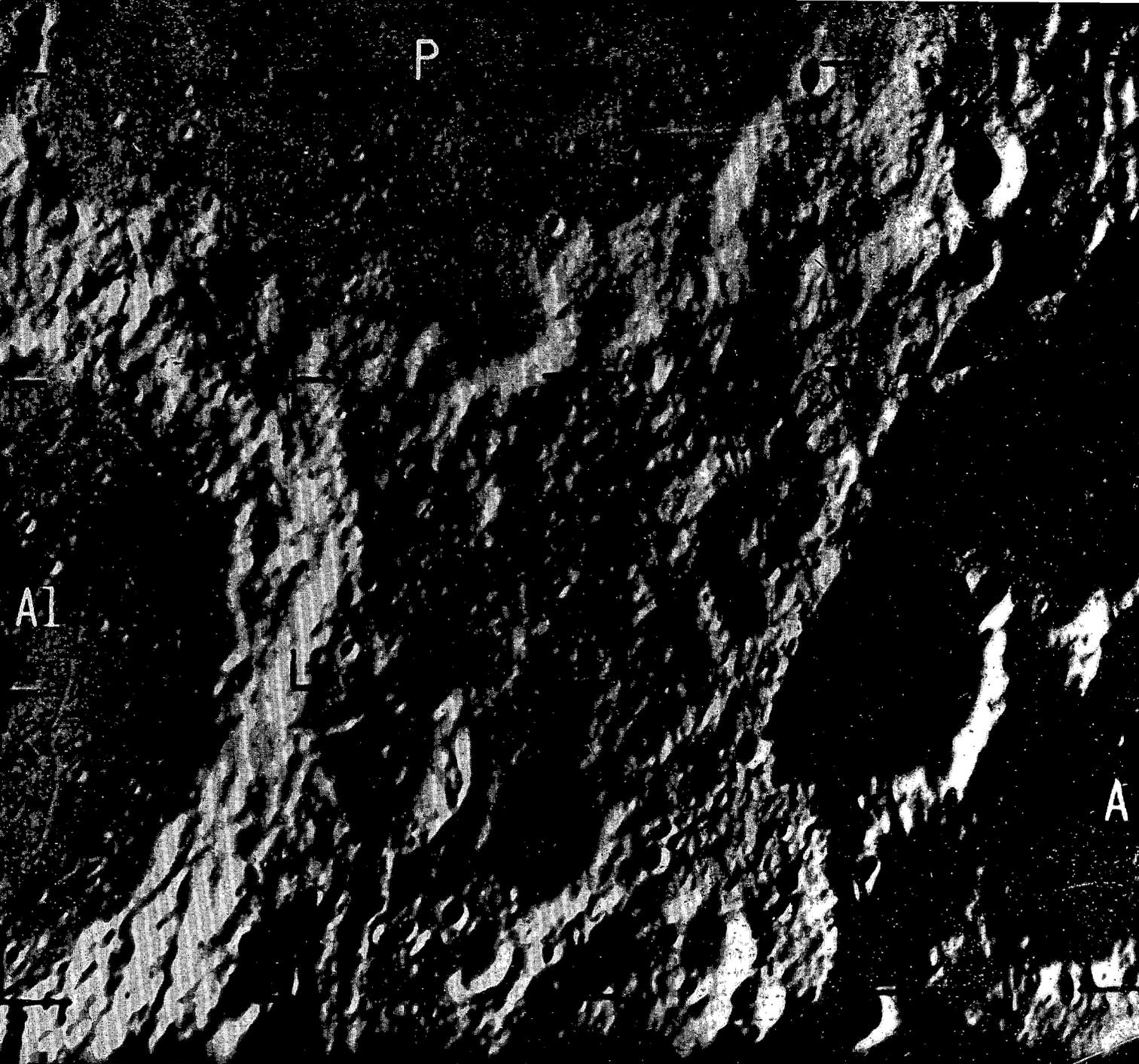


Foto núm. 4. — Fotografía de la serie de la anterior tomada por el "Ranger IX" el 24 de marzo de 1965, nueve minutos, dieciocho segundos antes de caer sobre la Luna y desde unos 1.250 Km. de su superficie. Los tres semicráteres que se ven en ella corresponden a: P, Ptolomeo; Al, Alfonso, y A, Albatenio.

Foto núm. 5.— Fotografía de la serie de las anteriores tomada por el "Ranger IX" el 24 de marzo de 1965, cuatro minutos antes de caer sobre la Luna y desde unos 530 Km. de su superficie. En ella se observa el borde Nor-oeste del cráter Alfonso. El círculo E señala el punto donde cayó el "Ranger IX", al Este de la gran línea de fractura o falla que lo bordea por su perímetro interior.

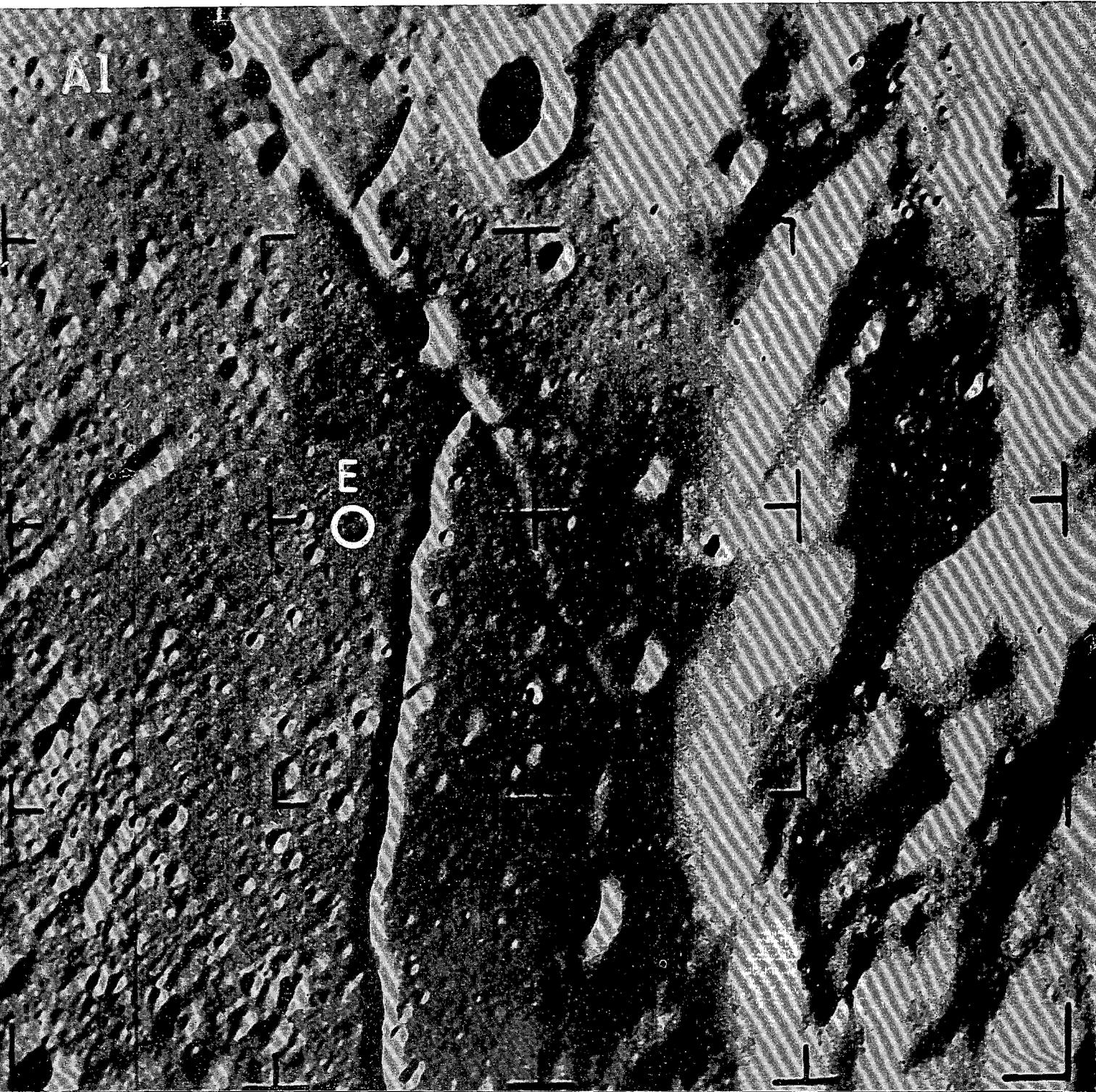
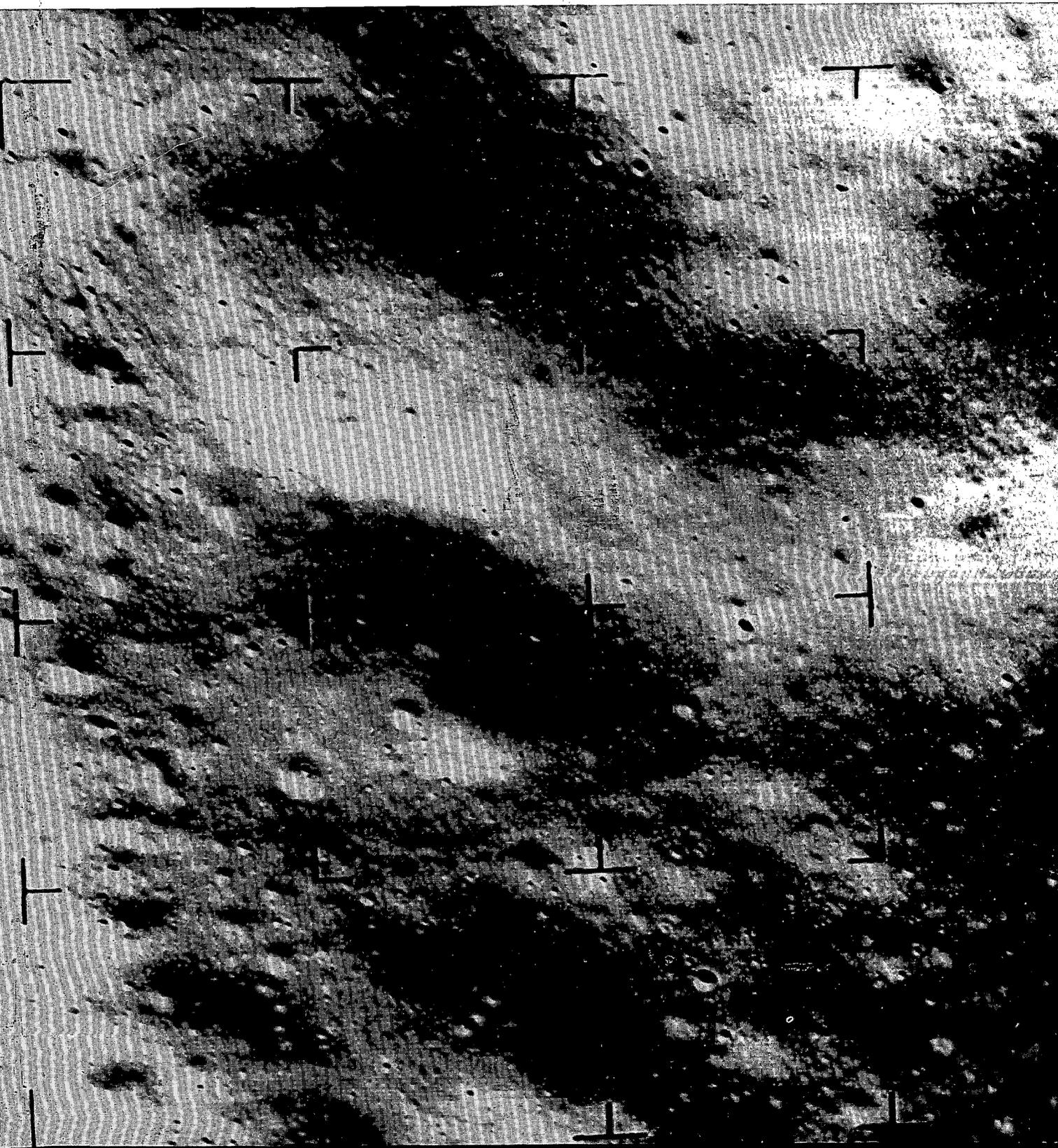


Foto núm. 6. — Última fotografía de la serie del "Ranger IX" tomada el 24 de marzo de 1965, 5,5 segundos antes de su caída sobre la Luna desde unos 13 Km. de altura sobre su superficie. El rectángulo fotografiado, zona E en la foto núm. 5, tiene unos 2,5 x 2,2 Km. de lado. En esta fotografía se observan varias depresiones mayores rodeadas de numerosos cráteres de impacto más pequeños, de los que los más reducidos se ha calculado tienen un diámetro del orden de los 10 m.



excluye ni mengua el valor de la observación directa, sino que sólo la simplifica y complementa.

De la conjunción de todos estos métodos de trabajo, han surgido, como iremos viendo, los primeros mapas fisiográficos y topográficos de la Luna, estos últimos incluso con curvas de nivel con el indicado error menor de 100 m., y últimamente, desde 1962, se han publicado los primeros ensayos de mapas "selenológicos", de los que nos vamos a ocupar con algo más de detención en la última parte del presente artículo.

Durante mucho tiempo se ha creído que la morfología, por otra parte ya muy conocida y típica del paisaje lunar (figs. núms. 2 y 7), era debida a los restos de una intensa, pero actualmente extinguida, actividad volcánica, asimilando sus formas circulares especiales a las de los correspondientes cráteres de otros tantos volcanes, muchas veces superpuestos los unos a los otros y rellenas sus concavidades de cenizas, lúpillis y demás materiales piroclásticos.

Sin embargo, a finales del siglo pasado, se sugirió la posibilidad de que dichos cráteres no eran tales, sino que correspondían más bien a los efectos de la caída sobre la Luna de un gran número de meteoritos, procedentes posiblemente de los mismos materiales desprendidos de la Tierra cuando la formación de la Luna, y que, en principio, hasta caer sobre ésta, permanecían girando alrededor de la Tierra, como otros tantos satélites, o formando antes quizá algún aro, parecido a los que aún hoy en día circundan la conocida imagen de Saturno.

Provisionalmente, se admite que la Luna se individualizó como satélite cuando aquel aro o conjunto de satélites se encontraban a una distancia media de la Tierra equivalente a tres radios terrestres. Desde entonces esta distancia ha ido aumentando hasta los 60 actuales, y en este movimiento, de traslación por el espacio, su masa principal, o sea la Luna, ha ido, por decirlo así, barriendo la mayor parte de los meteoritos existentes en la zona espacial interesada, los cuales han ido cayendo sobre ella; llegando incluso a aumentar sensiblemente su masa y salpicando profusamente su superficie con las cicatrices de los impactos producidos por los respectivos choques.

Pero, además de estos meteoritos procedentes del mismo accidente que provocó el nacimiento de la Luna, existen también otra serie de ellos muy importantes, cuyo origen, después de los estudios realizados, se atribuye a las consecuencias de la colisión de dos asteroides.

Estos meteoritos, al parecer, han sido objeto de un proceso de fusión y subsiguiente solidificación hace unos  $4\,600 \times 10^6$  años, y, por otra parte, existen diversas razones para admitir que fue aproximadamente en aquella misma época cuando la Tierra alcanzó más o menos los principales rasgos de su actual configuración. Resulta entonces bastante lógico que sea esta misma edad la que se atribuya a la Luna, de modo que las zonas más antiguas de su corteza se habrían formado hace también del orden de los  $4\,600 \times 10^6$  años, y según esta hipótesis, salvo los restos de cierta actividad volcánica muy primitiva, sólo los impactos producidos por la caída de los meteoritos sobre su superficie, han sido los agentes encargados de modificar su primitivo aspecto superficial.

Algunos de estos grandes impactos, producidos por la caída de los meteoritos de mayores dimensiones, parecen ser, asimismo, las causas originarias de las extensas rociaduras radiales de lava o polvo (?) que se extienden alrededor de los, de ser así, pseudo-cráteres, formados por un gran choque, tales, por ejemplo, los llamados Copérnico y Kepler (foto núm. 7).

Esta segunda hipótesis explica la formación del relieve lunar, según la cual resulta muy significativa la mayor densidad de estos grandes hoyos o cubetas circulares, que presenta a su alrededor por la zona ecuatorial.

Sin embargo, las últimas hipótesis desarrolladas hoy día, sobre el origen del

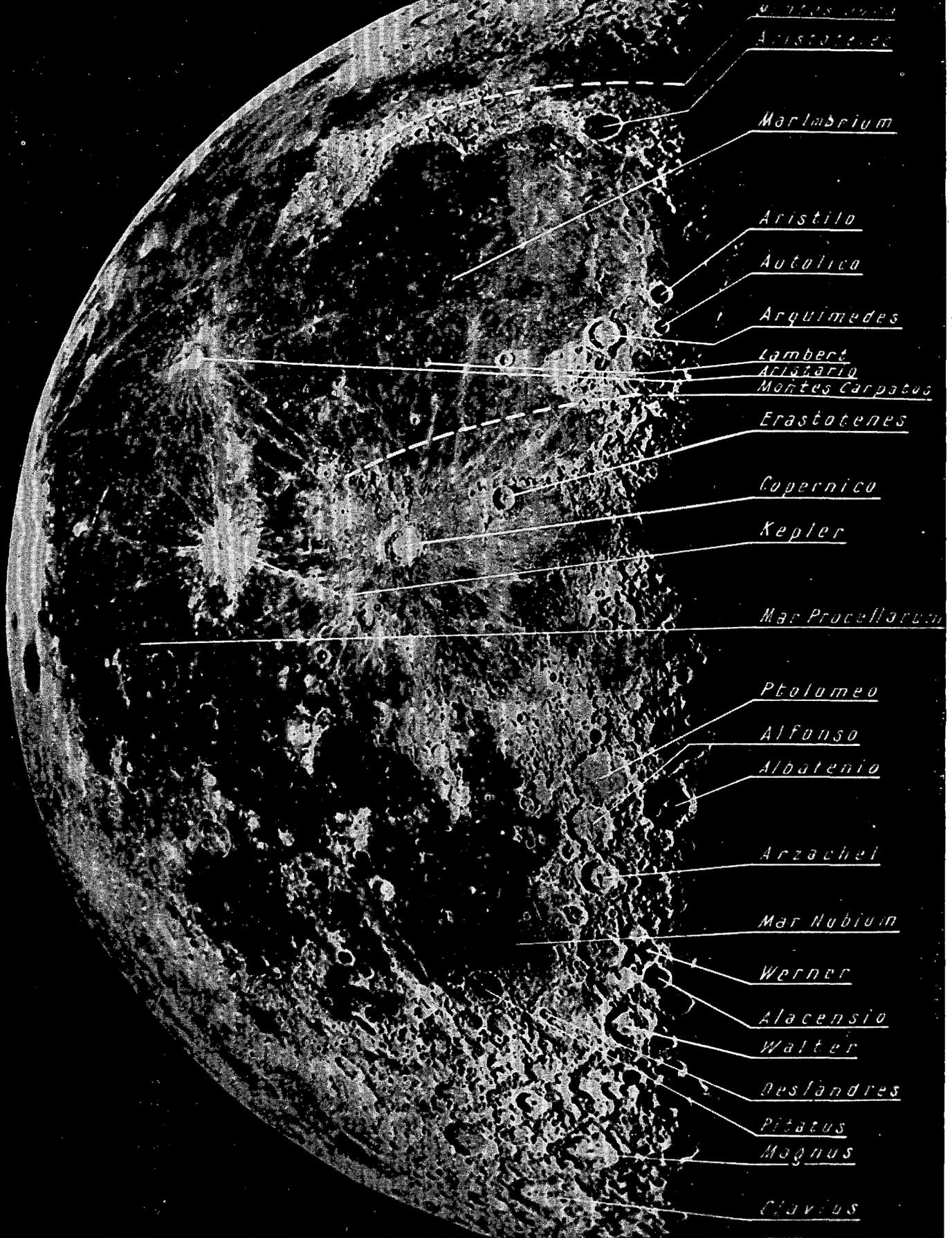


Foto núm. 7. — Semihemisferio Este de la Luna con sus principales accidentes fisiográficos.

relieve lunar, no están muy conformes con lo anterior y atribuyen estas formas circulares de relieve negativo, a la existencia de ciertos movimientos convectivos internos en el núcleo del satélite, aun en estado de fusión, análogos a las corrientes de convección del manto subcortical terrestre, que aquí originaron la traslación de las masas continentales, la formación de los macizos montañosos, y el consiguiente plegamiento de parte de la corteza terrestre.

En el caso de la Luna, estos movimientos convectivos dan lugar a unas corrientes columnares ascendentes, cuyo extremo superior, al enfriarse más rápidamente que el resto, se solidifica y se hunde de nuevo, sumergiéndose otra vez en la columna magmática ascendente, produciéndose con ello estas depresiones circulares, en este caso análogas a una caldera de hundimiento, como las denominadas Aristóteles, Arquímedes, Ptolomeo (foto núm. 7). A su vez, estos mismos hundimientos de la cabeza solidificada del extremo superior de dichas columnas, puede provocar el rebosamiento periférico del magma fluido inferior, que, al extenderse hacia el centro de la depresión, queda rellenando todo el fondo de la misma, con la correspondiente capa de lavas.

Algo análogo a los efectos producidos por la explosión de burbujas gaseosas, cuya presencia, sin embargo, no parece que hoy sea aceptable, como lo fue en épocas pasadas, no muy lejanas todavía, para explicar la morfología lunar.

La teoría de estos movimientos de convección internos, explica la existencia de los pseudo-cráteres, sin recurrir a la necesidad de los impactos meteóricos, en opinión de muchos autores, bastante menos probables, de lo que a primera vista pudiera creerse.

En resumen y como suele ocurrir frecuentemente, lo más verosímil es que hayan concurrido sobre la Luna los tres tipos de fenómenos: volcanismo, choques meteóricos y calderas de hundimiento.

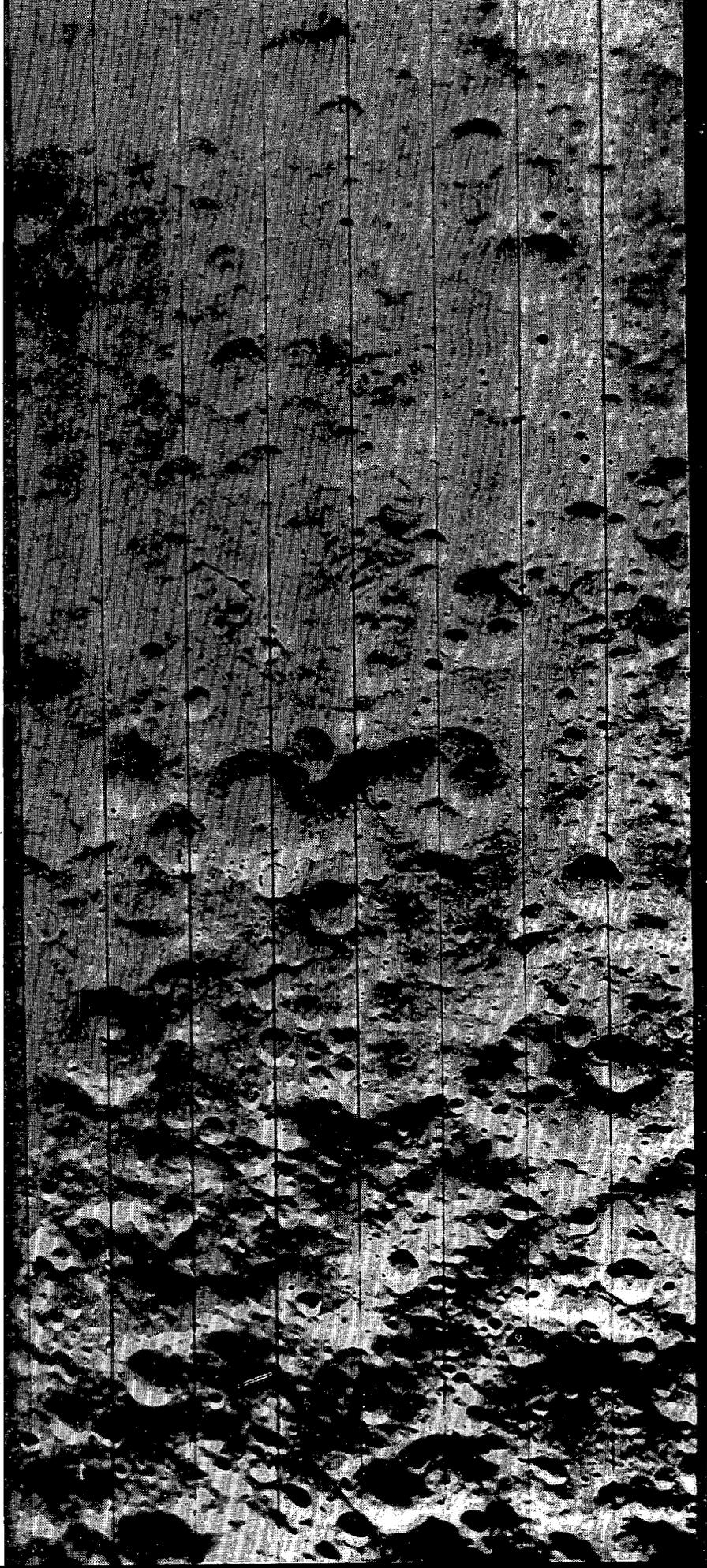
En cuanto a la naturaleza y origen del material que rellena estas concavidades, la teoría volcánica lo asimila a la acumulación de cenizas, lúpillis y materiales piroclásticos diversos; la del bombardeo meteórico, por su parte, les asigna distintos orígenes, uno de ellos, el principal, análogamente violento, como en la hipótesis anterior, aunque de otra naturaleza, como sería el del desmenujamiento mecánico producido por el impacto del mismo choque y otros menos bruscos, pero tanto o más activos que aquél, como serían los debidos a los efectos de la acción de la energía solar recibida directamente por la Luna, sin los efectos amortiguadores, que en el caso de la Tierra representa la presencia de nuestra atmósfera.

Por otra parte, hay que tener también muy en cuenta que sobre la superficie lunar inciden directamente, además, los rayos cósmicos, las irradiaciones solares ultravioletas, las X, y una relativamente gran cantidad de partículas solares, en su mayor parte protones y electrones, a todo lo cual hay que añadir los cambios tan fuertes como bruscos de temperatura, que se producen entre el día y la noche lunares, que oscilan entre más de 100° C. y menos de 170° C. bajo cero.

Todos estos activos agentes destructores de las rocas, provocan, por la alteración en la textura de los cuerpos minerales de la superficie del satélite, su rápida destrucción y en último término su conversión en polvo, desarrollando sobre ellos un proceso de meteorización posiblemente más intenso aún que los producidos sobre los materiales terrestres por el conjunto de la erosión hidráulica, eólica, física y química, operantes en el seno de nuestras: atmósfera, hidrosfera y litosfera.

Por otra parte, este material así originado, es susceptible de trasladarse sobre la superficie lunar bajo los efectos combinados de la acción electrostática de repulsión y de la gravedad lunar, producida, la primera, al cargarse intensa y eléctricamente determinadas zonas más o menos aisladas, como consecuencia de la misma energía solar incidente sin amortiguación atmosférica alguna. De estas zonas de material incoherente, eléctricamente cargadas, saldrían despedidos los materiales sueltos más ligeros, que irían cayendo sobre niveles cada vez más bajos, en relación con la su-

Foto núm. 8. — Vista parcial de la cara oculta de la Luna, obtenida y retransmitida por el satélite lunar americano "Lunar I" el 22 de agosto de 1966. La superficie fotografiada corresponde a un rectángulo de unos 950 x 350 Km., que presenta el mismo aspecto típico del hemisferio conocido, con igual profusión de cráteres o pseudo-cráteres, muchos de ellos con su frecuente aguja o prominencia central.



perficie lunar de su alrededor, sometidos a una serie de saltos descendentes sucesivos.

El profesor Gold, de la Universidad de Cornell, ha demostrado la existencia de este tipo de movimientos de traslación, con partículas de polvo iluminadas con rayos ultravioletas, estáticamente electrizadas dentro de ciertos ambientes enrarecidos.

Tan singulares fenómenos jugarían en la Luna análogo papel al que la sedimentación que nosotros conocemos, produce sobre la Tierra.

Estos tipos "sui-géneris" de pulverización y traslación, equivalentes, como acabamos de decir, a los fenómenos de erosión y sedimentación terrestres, junto con el volcanismo, el bombardeo meteórico y los movimientos convectivos del núcleo lunar, son en conjunto los principales agentes que han contribuido a la modelación de su singular paisaje, dentro del cual sus principales características fisiográficas, distribuidas como aparece en el mapa de la foto núm. 2, realizado sobre una fotografía, son las siguientes:

a) Zonas más oscuras, que reflejan solamente del orden de un 3 a un 5 por 100 de la luz solar, relativamente llanas y carentes de relieves superpuestos, aunque con las últimas fotografías espaciales se ha podido comprobar ahora que, prácticamente, no existen sobre la Luna superficies lisas, que al parecer, también ahora, resultan recubiertas por materiales lávicos, en lugar de polvo, como se venía creyendo. Estas zonas desde el principio se empezaron a llamar "mares", y así se les sigue designando, con nombres tales como el Mar Imbria figura núm. 2, realizado sobre una foto-número 7), el de la Tranquilidad, el de la Serenidad, etc., etc.

b) Zonas menos tranquilas, en el sentido de que se presentan modificadas por pseudo-cráteres, o depresiones de impacto, sin materiales de fusión ni formaciones lávicas, y que se refieren aparentemente a la costra original del satélite. Estas zonas se llaman "Mesetas", o todavía, a veces, como restos de la nomenclatura del siglo XVII, se denominan, también, "Tierras", o "Montañas", bautizadas con nombres tomados de las más conocidas cadenas terrestres. El Jura, Apeninos, Alpes, etc.

c) Zonas de erupción, que son las recubiertas por materiales de aspecto análogo al de los volcánicos terrestres y que, en general, se encuentran recubriendo a las anteriores, y dispuestas alrededor de los llamados mares, o de los grandes pseudo-cráteres de impacto. Las de mayor tamaño se distinguen con determinados nombres propios, en honor y recuerdo de los de personajes más célebres de la Historia de la Ciencia o de los científicos actuales que se dedican a su estudio.

d) Los grandes bajorrelieves de impacto, distribuidos preferentemente sobre las mesetas, razón por la cual se considera a éstas como la formación superficial más antigua de la Luna. Como los anteriores, en el léxico actual se conserva todavía la costumbre clásica de seguir llamándoles cráteres y designarlos, también, con nombres propios tomados del de los más conocidos astrónomos y filósofos de todos los tiempos; así, por ejemplo, tenemos los cráteres de Aristóteles, Ptolomeo, Copérnico, Kepler, en su mayoría, sin embargo, latinizados para su uso internacional.

e) Finalmente, sobre el relieve lunar existen, además, otros accidentes secundarios, como las grandes "grietas o fisuras de tensión", presentes, en general, cerca de los bordes exteriores de los grandes mares, las "arrugas de presión", las "fallas", algunas con frentes muy escarpados como, por ejemplo, las existentes a lo largo de los llamados Montes Apeninos o de los Montes Altai; extensos "grábenes", como el valle de Rheita o el de la costa sur del mar Nubium; "domos" de lava, como los cercanos a Mario; "calderas" más reducidas; "diques" alargados y extensos, como la serie próxima a W. C. Bond, o al levantamiento Aristarco; erectos "pitones", muy puntiagudos y aristados como el Monte Pitón, cuya altura se ha calculado en unos 2.200 m., con un perímetro en su base sólo de 20 Km. de desarrollo, etc., etc.

Elementos todos ellos de gran importancia e interés para el estudio de la futura Selenología.

Todos estos accidentes ubicados en la cara vista de la Luna están ya hoy en día

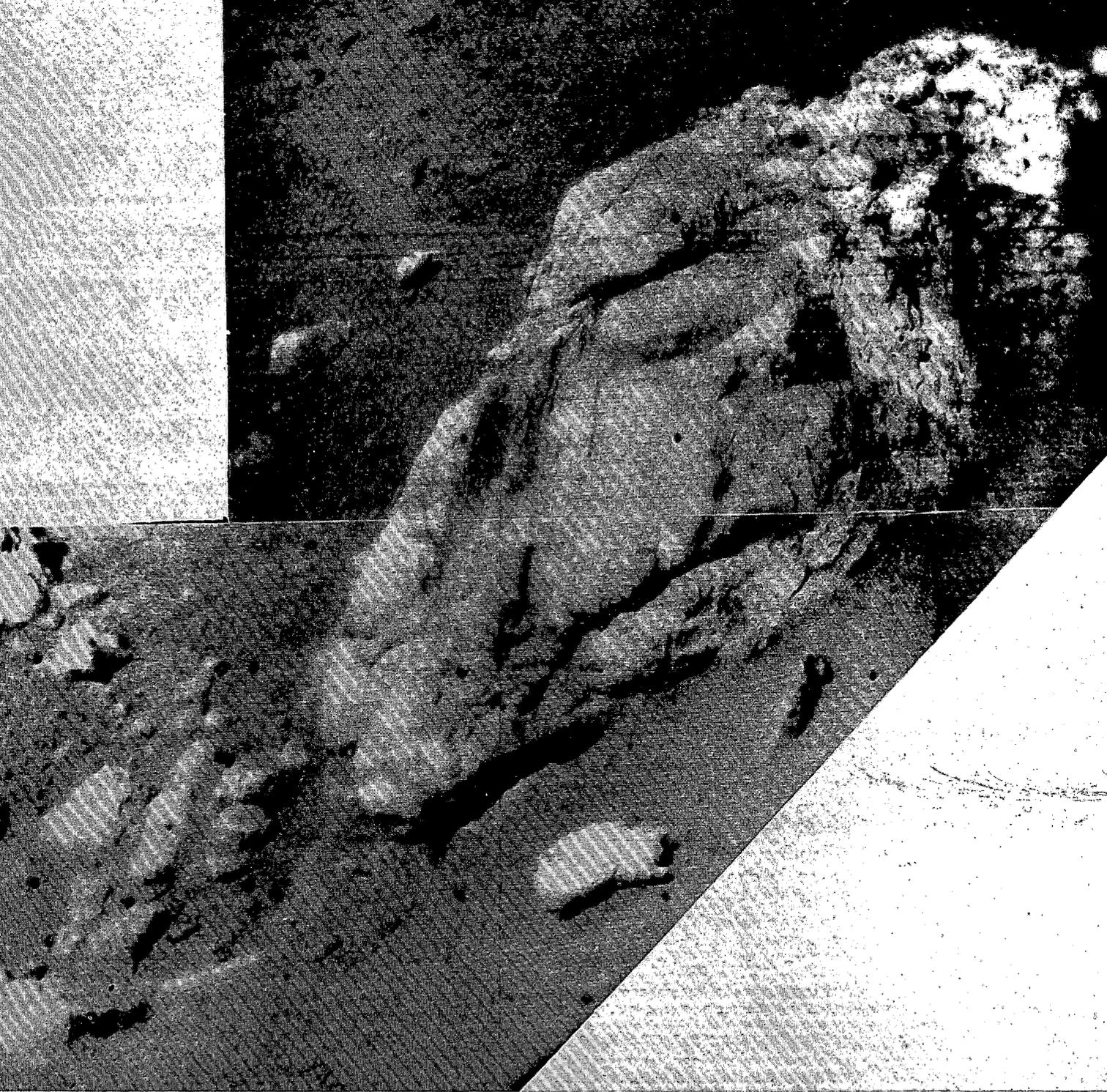


Foto núm. 9. — Fotografía de un bloque rocoso de 0,5 m. de longitud transmitida por el "Surveyor I", dada a conocer por la N.A.S.A. el 16 de junio de 1966. En la misma se observan dos sistemas de diaclasas casi ortogonales, y por su aspecto parece corresponder a una roca ígnea.

perfectamente localizados, individualizados, reconocidos y representados en distintos mapas especializados, tales como, por ejemplo, el mapa "Fisiográfico de la Luna", a escala aproximada 1/3 800 000, realizado por Robert A. Hackman y Arnold C. Mason, publicado en 1961 por el Geological Survey del Departamento del Interior de los Estados Unidos, que reproducimos con su permiso en la fotografía de la figura 2, en la que se aprecian todos estos accidentes que acabamos de describir.

Y hoy día ya, gracias a las series de fotografías que se van recibiendo de la cara no vista de la Luna, retransmitidas por los últimos satélites del tipo de los "Lunar" (foto núm. 8), se están también confeccionando, con igual precisión y detalle, análogos mapas que abarcan toda su superficie.

### III. Selenología y Cartografía selenológica.

El estado actual del desarrollo de la Selenología, aunque muy incipiente y en algunos extremos aún muy indefinido, se halla sintetizado en los mapas selenológicos que desde 1961 han empezado también a publicarse, y actualmente en vías de rápida perfección gracias a las informaciones que van proporcionando los vuelos y exploraciones espaciales que se vienen llevando a cabo desde Norteamérica y Rusia.

La confección de estos mapas, iniciada por el Geological Survey, de los Estados Unidos, se basa en el estudio y análisis de las observaciones directas de la Luna, realizadas desde los observatorios de todo el mundo y, en particular, con los telescopios especiales de Lowell, Flagstaff, Arizona, etc., etc., y sobre todo en la fotointerpretación aplicada a las fotografías tomadas directamente desde los observatorios de Lick, McDonald, Monte Wilson, Pic du Midi y otros, y especialmente a las últimamente retransmitidas por los diversos satélites y demás artefactos enviados al espacio y a la Luna, en la actual fase de exploración preparatoria de la futura llegada del hombre a nuestro satélite.

Los datos litológicos que figuran en estos mapas, se han clasificado de acuerdo con las características de su forma, aspecto y situación relativa de los diversos materiales que se observan sobre su superficie, algunos de ellos fotografiados con gran detalle y precisión, como muestran, por ejemplo, las fotografías números 9 y 10, en las que figuran rocas y bolos de dimensiones muy reducidas, o la fotografía núm. 11, tomada por el Surveyor I después de posarse sobre la superficie lunar, y en la que aparece retratada su propia sombra.

Estudiados estos materiales resultan ser tan variados como heterogéneos, y por tanto, así también, de variados y heterogéneos, resultan ya los primeros mapas selenológicos, realizados hasta el presente que tratan de representarlos.

Su clasificación se ha establecido provisionalmente, aplicando en principio los mismos métodos y convencionalismos desarrollados por la Geología y la Fotogeología con las salvedades a las que ya hemos hecho referencia antes, reuniéndolos en una serie de grupos a partir de ciertos prototipos, organizados en unas series equivalentes a la clasificación estratigráfica terrestre, dándoles incluso, aunque de una forma más o menos provisional, una determinada ordenación cronológica relativa.

Los sistemas y periodos establecidos hasta ahora, teniendo en cuenta los principales eventos ocurridos durante los mismos, son los siguientes, de mayor a menor antigüedad:

Sistema *Preimbriano*, en el cual se admite la formación de la mayoría de los "mares" que aparecen en zonas de tonos de gris de mediana intensidad, formando espacios cerrados con pequeñas colinas rocosas de suaves laderas (taludes de 5 a 10°) y escasas alturas de 200 a 600 m., cuyos diámetros oscilan de 3 a 5 Km.; muchas de ellas dispuestas en alineaciones paralelas.

Los materiales que se presentan en estas zonas, corresponden a bloques rocosos

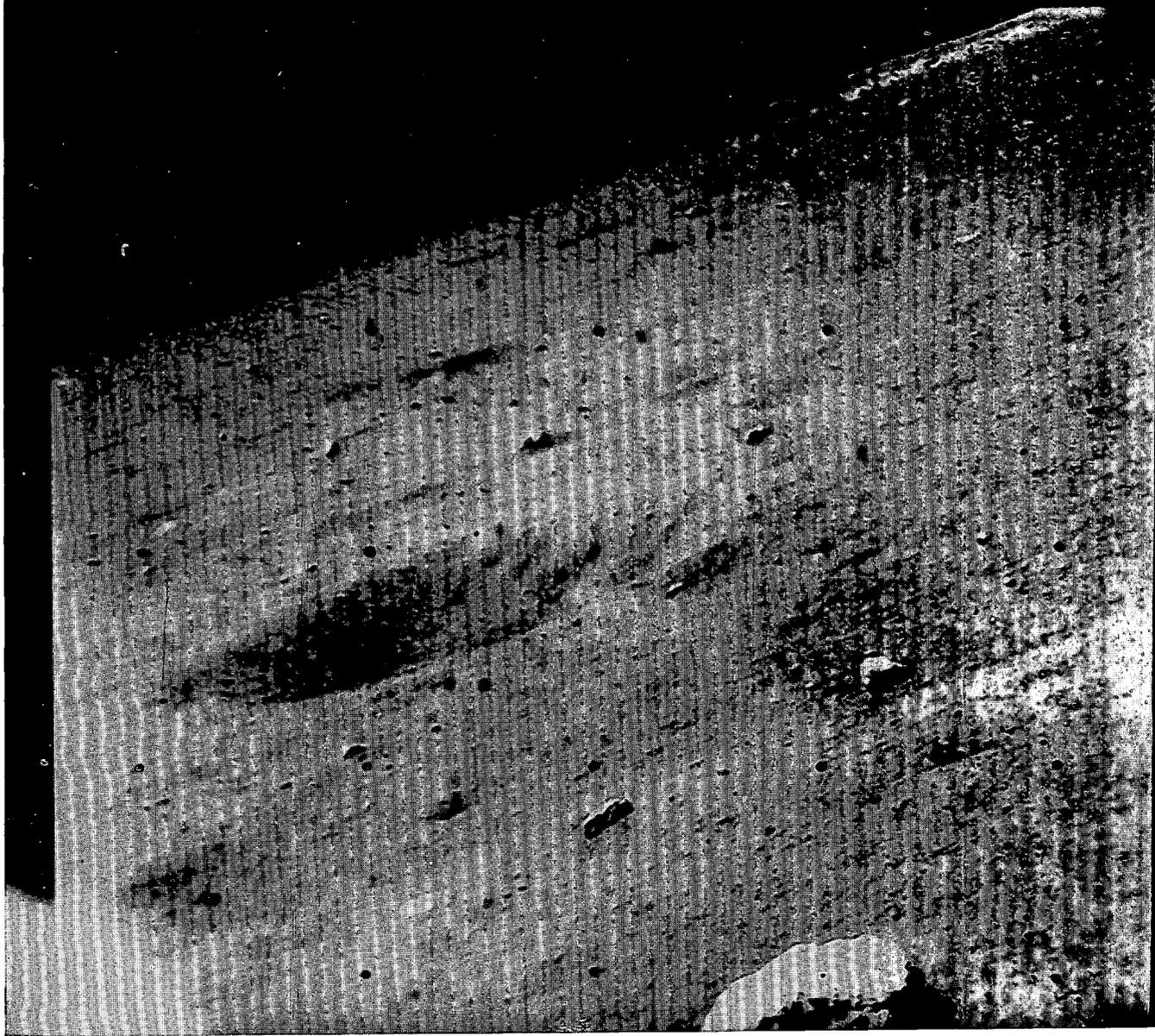


Foto núm. 10. — Pequeño canto rocoso (de unos 15 × 30 cm.) fotografiado por el "Surveyor I" el 1 de junio de 1966 a las 23 horas 17 minutos, hora del Pacífico. En segundo término se aprecia un reducido cráter meteórico, así como otros varios cantos de aún más pequeñas dimensiones. En último término, aparece el horizonte lunar de la zona fotografiada.

bastante tectonizados, en su mayoría de aspecto ígneo, aunque algunos sean claramente referibles a un remoto origen volcánico.

Corresponden todos ellos a los materiales más antiguos e incluyen una gran variedad de los mismos, aún no diferenciados ni subdivididos en subgrupos como se ha podido hacer con los siguientes:

Sistema *Imbriano* subdividido en tres períodos, correspondientes a las llamadas formaciones del mar Imbrium y los Montes Mauro, formaciones Post-Imbrium y Ante-Procellarum y las del mar Procellarum.

Los materiales de este sistema aparecen con tonos de intensidad media, pero más claros que los anteriores y, a menudo, en su mayoría superpuestos a ellos. Su aspecto es, en general, de tipo volcánico, con lenguas lávicas y extensos depósitos de lápillis y cenizas.

Su origen corresponde en su mayoría a la aparición de las calderas de hundimiento, producidas por los movimientos internos de convección.

Sistema *Erastoteniano*, formado especialmente por los grandes cráteres de impacto que no presentan, sin embargo, a su alrededor la disposición radial que caracteriza a los del grupo siguiente.

Los materiales que integran esta formación presentan un aspecto más detrítico con frecuencia brechoide y taludes, al parecer, sólo parcialmente estabilizados.

Las formas circulares de sus relieves negativos, se asimilan a los indicados pseudo-cráteres de impacto.

Finalmente, el sistema más moderno, llamado *Coperniconiano*, comprende todos los grandes pseudo-cráteres de impacto que se presentan rodeados de amplias y extensas formaciones radiales, con alineaciones en esta disposición incluso de varios kilómetros de longitud.

Sus materiales son los que dan en las fotografías tonalidades más claras, corresponden al parecer a los de formación más reciente y presentan los taludes más inestables, con grandes y frecuentes deslizamientos.

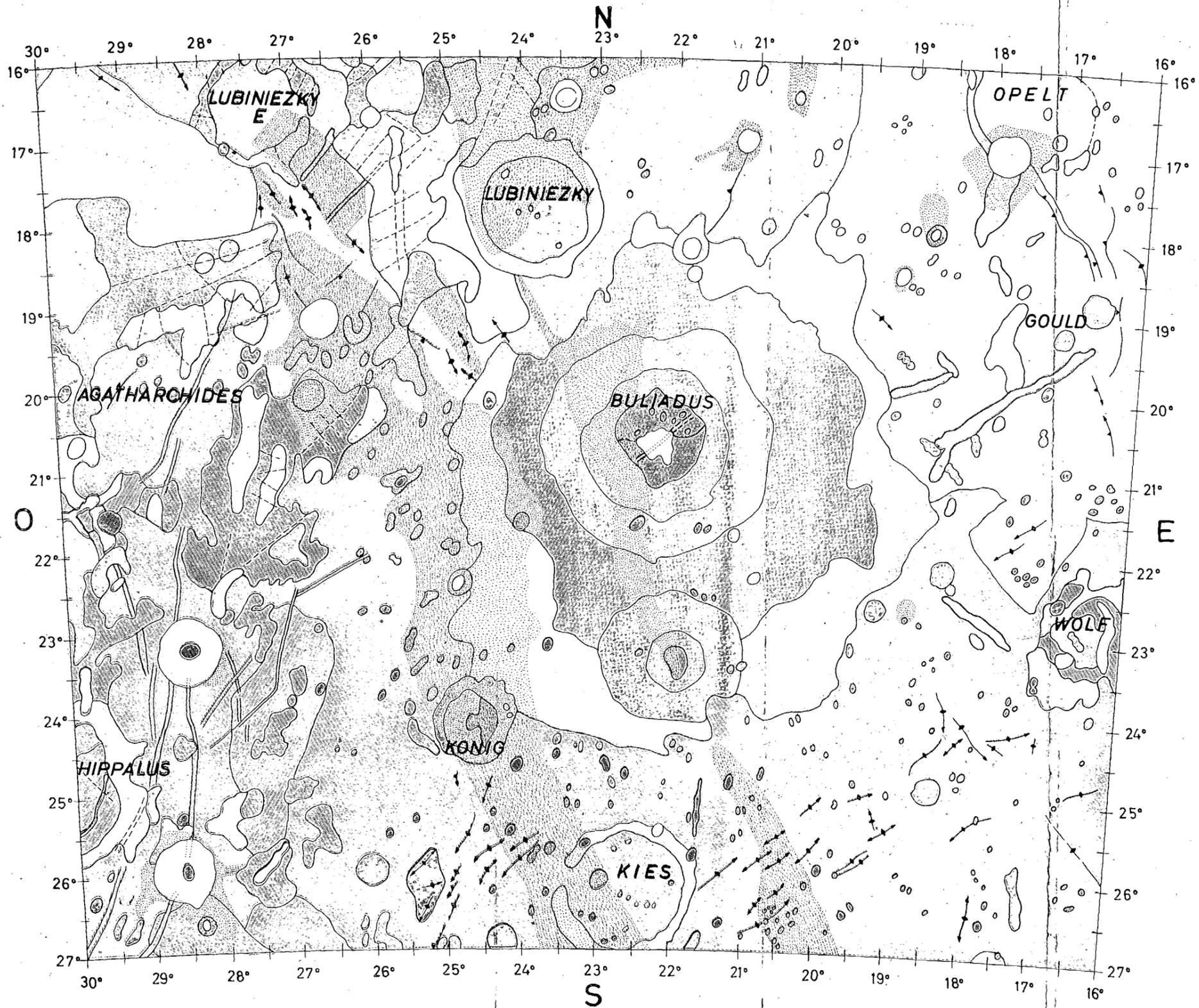
La mayor claridad con que aparecen tanto en las fotografías como bajo la observación directa, se atribuye precisamente a su relativa mayor juventud, en el sentido de que su superficie aún ha sido poco afectada por los agentes externos meteorizantes, tales como los bombardeos meteoríticos, o las radiaciones energéticas solares, que, como hemos indicado, son las que principalmente provocan su alteración.

Las líneas de contacto de estas formaciones, o sea, las que separan los diversos tipos de materiales que se agrupan en estos sistemas, se establecen a partir de su morfología, de su posición relativa y de la intensidad de luz reflejada, minuciosamente medida por métodos fotogramétricos, aplicados tanto a la observación directa, como a la indirecta, a partir de las fotografías.

Los diversos tipos de accidentes fisiográficos y morfológicos, como son las fallas, las líneas de fractura, los diversos tipos de estructura, etc., etc., se cartografían por medio de una simbología análoga a la geológica y su representación gráfica se hace a partir de su proyección cónica sobre una esfera ideal de 1 738 Km. de radio.

A título de muestra y al objeto de ver el aspecto que ofrecen estos primeros mapas selenológicos, en la figura 12 reproducimos parcialmente la zona del gran pseudo-cráter Bulliadus, perteneciente al sistema Erastoteniano, sintetizado y simplificado a partir de los datos que figuran en la hoja correspondiente al mapa selenológico de la región de Pitatus, a escala 1/1 000 000, realizado por N. J. Trask y S. R. Titley, que acaba de publicarse en 1966 por el Geological Survey, de los Estados Unidos.

Terminamos esta breve divulgación del estado de los estudios selenológicos que se vienen realizando a nivel internacional, dejando expresa constancia de nuestro agradecimiento a la N.A.S.A. y al Geological Survey, de los EE. UU., por las facilidades y autorizaciones que tan amablemente nos fueron dadas en ocasión de nuestra reciente visita a la sede de tales Organismos, en Washington, donde pudimos estudiar sin reserva alguna sus magníficos y documentados archivos.



# MAPA SELENOLOGICO DE LA REGION DEL BULIADUS

VERSION PARCIAL SIMPLIFICADA DEL MAPA DE N.J. TRASK Y S.R. TITLEY  
HOJA n°I-485 DEL G.S. DEL D.I. DE LOS EE.UU.

## LEYENDA

- |  |   |   |                         |
|--|---|---|-------------------------|
|  | MATERIAL INCOHERENTE (SIN RELIEVE)<br>DE LOS CRÁTERES DE IMPACTO MAS MODERNOS                                 | } | SISTEMA COPERNICIONIANO |
|  | ZONAS DE TALUDES INESTABLES<br>CON FRECUENTES Y RECIENTES DESLIZAMIENTOS                                      |   |                         |
|  | CRÁTERES DE IMPACTO RECIENTES<br>CAUSADOS POR EL BOMBARDEO METEÓRICO  | } | SISTEMA ERASTOTENIANO   |
|  | MATERIAL DETRÍTICO DISPUESTO RADIALMENTE POR<br>LA FORMACION DE UN GRAN CRÁTER DE IMPACTO                     |   |                         |
|  | ZONA DE RELIEVES ALINEADOS CARACTERÍSTICOS<br>DE LOS GRANDES CRÁTERES DE IMPACTO                              | } | SISTEMA IMBRIANO        |
|  | CRÁTERES DE IMPACTO SUBRECIENTES<br>DE RELIEVE SUAVIZADO  |   |                         |
|  | MATERIAL INCOHERENTE EN<br>EL INTERIOR DE LOS CRÁTERES  | } | SISTEMA PRE-IMBRIANO    |
|  | MATERIAL VOLCÁNICO, CORRIENTES DE LAVAS, LAPILLIS<br>Y CENIZAS, TÍPICO DE LA SUPERFICIE DE LOS LLAMADOS MARES |   |                         |
|  | VOLCANES ANTIGUOS   |   |                         |
|  | TOBAS Y LAVAS VOLCÁNICAS<br>O CORRIENTES MAGMÁTICAS   |   |                         |
|  | CRÁTERES VOLCÁNICOS O CONVECTIVOS   |   |                         |
|  | MATERIAL INDIFERENCIADO DE LAS<br>ZONAS CORTICALES MAS ANTIGUAS   |   |                         |
|  | ZONAS ROCOSAS Y DOMOS EMERGENTES DE ASPECTO ÍGNEO<br>CON FRECUENTES SISTEMAS DE DIACLASAS, FRACTURAS Y FALLAS |   |                         |
|  | SERIES DE CRÁTERES EN CADENA<br>DE EDAD NO DE TERMINADA   |   |                         |
|  | CRESTAS DE LOMAS ALINEADAS  |   |                         |
|  | DEPRESIONES O VALLONADAS  |   |                         |
|  | LÍNEAS DE ESCARPES Y GRANDES CANTILES   |   |                         |
|  | CONTACTO LITOLÓGICO   |   |                         |
|  | FALLAS Y GRANDES LÍNEAS DE FRACTURA   |   |                         |

Proyección Lambert



Foto núm. 11. — Fotografía de la superficie lunar tomada también por el "Surveyor 1" con su propia sombra, veinticuatro horas antes de quedar en la zona oscura de la fase lunar, el 13 de junio de 1966, a las dos horas cincuenta y cinco minutos (EDT), transmitida al "Jet Propulsion Laboratory" de Pasadena (California).