

# JUEVES NUCLEARES

FRANCISCO DE PEDRO HERRERA

Francisco de Pedro Herrera, doctor en Ciencias, es profesor honorario de Geoquímica Nuclear en la Universidad Autónoma de Madrid, donde ha sido catedrático "ad Honorem" de Geoquímica y Prospección Geoquímica.

En la Universidad Complutense de Madrid se encargó del curso "Métodos nucleares en Geología".

Durante 35 años en la Junta de Energía Nuclear desarrolló la Geoquímica y se encargó de la planificación y control del Plan Nacional de Exploración del Uranio en España.

Mantenedor del "I Seminario de Geología Lunar" celebrado en Barcelona en mayo de 1970 con carácter internacional, expuso su teoría de formación diferencial de nucleidos en la superficie de la Luna.

Cuando fue presidente de la Real Sociedad Española de Historia Natural y actualmente como presidente de la Sección Técnica de Geoquímica en la Asociación de Químicos de Madrid ha propiciado la utilización de métodos nucleares en dataciones, determinación de paleotemperaturas, identificación de orígenes, cosmoquímica, y otras aplicaciones al mundo natural, participando con diversos cargos en la organización de 8 Congresos Nacionales de Geoquímica y 3 Ibéricos.

Coautor de léxicos y diccionarios de Terminología Nuclear, es el secretario de la Comisión respectiva en la SNE.

## "NUCLEIDOS EN LA LUNA"

Soslayando teorías cosmogónicas, aceptamos el hecho de que en los astros la gravedad actúa como motor de nucleogénesis, empaquetando los nucleones en el interior de las estrellas hasta densidades que superan la tonelada por centímetro cúbico. No existen átomos sino núcleos, o, como algunos dicen, materia solar indiferenciada.

El máximo factor de empaquetado es para la zona del hierro y sus inmediatos, por eso, a veces se llama Ni-Fe al núcleo terrestre y, como vamos a ver, algún otro muy interesante, pero deduzcámoslo de la realidad experimental.

Son múltiples las reacciones de nucleogénesis que se producen a favor del campo energético imperante y de la migración de los resistentes hasta capas esféricas donde estabilizarse, lo que constituye la diferenciación geoquímica astral, quedando los más ligeros en las capas externas salvo que su velocidad de escape sea tal que se pierdan en los espacios siderales.

La estrella no se aguenta y en una brutal explosión lanza sus materiales al espacio, donde superada la dinámica de la expulsión se van agregando por atracción gravitatoria de acuerdo con las leyes de la mecánica, quedando muchos como fragmentos irregulares, dando los sideritos y los condritos; si bien ciertos acúmulos alcanzan una determinada masa permitiendo que el calor de las reacciones nucleares en

parte lo funda y facilite el alcanzar la forma esférica característica, siendo bastantes los que aun de menor tamaño que la Tierra lo han logrado, bien como planetas independientes que forman el sistema solar o como satélites de éstos, sugiriendo una dependencia genética.

Quedan numerosos restos informes y de muy variados tamaños, que acaban chocando o cayendo en los que son mayores, aumentándolos por acrecimiento. La gravedad también aumenta, así como las reacciones nucleares, desprendiendo energía con efectos térmicos, mecánicos y lumínicos, de forma que hace algún millar de millones de años se podía contemplar desde la Tierra una cercana Luna con luz propia.

Conviene recordar algunos datos:

Si la masa de la Tierra es de  $6 \cdot 10^{27}$  g, la de la Luna es 83,3 veces menor; la gravedad es un sexto y retiene mucho peor los elementos gaseosos, por lo que carece de atmósfera, lo que repercute en sus situaciones extremas de temperatura en superficie, entre los  $120^{\circ}\text{C}$  de la zona iluminada (con lo que toda agua de empapamiento, y mucha de constitución, se evapora de los materiales superficiales) y los  $-150^{\circ}\text{C}$  en la no iluminada (por eso en los bordes en sombra de determinados

cráteres se busca el hielo accidentalmente llevado por algún cometa).

La distancia media al Sol es de  $1,495 \cdot 10^{11}$  m y a la Tierra son  $3,8 \cdot 10^8$  m, es decir, unos 60 radios terrestres, y como la relación volumétrica Tierra-Luna es mucho más pequeña que la de cualquier otro planeta conocido respecto a sus satélites, hace que el conjunto tenga propiedades similares a las de los planetas dobles, por lo que hay una fuerte interacción, recordemos su influencia en la precesión de los equinoccios, de nutación de eje de rotación terrestre y en las mareas de las masas hídricas de la Tierra y, adelantamos, la posible acción de ésta sobre fluidos o viscosos lunares, atraídos hacia la cara visible.

Aquí puede estar la explicación de que parece como si estuviera "enganchada" con respecto a la Tierra y, por ello, tarda tanto en orbitar a su alrededor como en girar sobre el propio eje, de forma que salvo las libraciones por longitud y latitud, que ponen en juego hasta el 59% de la superficie lunar, se puede hablar de una cara siempre visible y una cara oculta.

Como en los demás astros, se han reconocido capas concéntricas: núcleo, manto y corteza.

Al núcleo se asignan las generalidades de ser donde se decantan los nucleidos más pesados y los de mayor empaquetado con un carácter metálico, acaso por la falta de electrones

corticales o que éstos no están incardinados a un determinado núcleo sino formando una nube como se asigna al enlace metálico en Química.

En sus bordes externos la presencia de nucleidos de elementos más ligeros parece propiciar fases fundidas que favorecen la diferenciación geoquímica dentro del alto grado de pastosidad que es de esperar.

Más externamente está el manto, al que en similitud con el terrestre se considera constituido por la mayor parte de los materiales acrecidos a partir de la explosión estelar, en claro y difícil proceso de diferenciación, al menos gravitatoria, con infinidad de reacciones nucleares que, al ser exotérmicas, liberan gran cantidad de calor al tiempo que generan nucleidos de menor número másico, que, a su vez, tienden a diferenciarse en una corteza exterior de materiales resquebrajados por acciones dinámicas y con el aspecto llamativo que estamos acostumbrados a ver desde la Tierra.

Por tradición, los llamados cráteres o circos, las montañas más o menos alineadas y los que, por su planura, llamamos terrícolamente mares, aunque sin gota de agua.

Éste es el aspecto de la cara visible, pues la oculta es mucho más monótona en apariencia, más llena de circos y sin apenas mares como los de la cara visible. Su explicación tendrá.

En 1965 la sonda soviética Zond 3, con destino a Marte, pasó cerca de la Luna y envió las primeras fotos de esta cara oculta que causaron escepticismo, al presentar un aspecto tan distinto de lo acostumbrado.

El mismo año, los americanos con el Ranger 9 ya tenían 9.000 fotos de la cara visible y un año después el Surveyor 1 proporcionó otras 11.000 fotografías; además de hacer un alunizaje suave, que es lo que iban pretendiendo para enviar hombres a tales lugares.

Con estos registros gráficos, se procedió a hacer una cartografía por análisis fotogeológico, diferenciando materiales y posibles orígenes.

Así, se estudió un gigante: Copérnico; con un pico en el centro, rebordes levantados en circo, y múltiples alineaciones radiales de pequeños cráteres que son demostrativas de un impacto.

Se vio cómo el cráter Stadius está como fosilizado por un material homogéneo, aunque se reconoce perfectamente su delimitación circular, y luego

hay una serie de impactos sobrepuestos al conjunto.

Los hay verdaderamente preciosos por su geometría concreta, e incluso se pueden secuenciar en el tiempo, como el caso del Loewy, donde se ve como una erosión producida en sus bordes por el material de fondo y unos impactos claramente posteriores.

Algo similar le ocurre al Poiseux, que está al borde de un mar, que, aparte de su planicie y material homogéneo, está rodeado de alineaciones cual si fuera un borde de cráter de impacto luego relleno.

Ya en 1966 se hizo por observación desde la Tierra, un esquema para el cráter Tycho, que, a simple vista, se ve en la parte inferior derecha de la Luna, con su pico central y la excavación del impacto meteorítico.

Ilustraciones más recientes han hecho representaciones analíticas en color de los diversos resultados según las características del impactante, que ha conmovido el terreno de forma que se agrieta y la pérdida de presión en profundidad permite que materiales a temperatura cercana a los 1.000°C funda y suba a la superficie, rellenando los mares. Fenómeno favorecido por la atracción terrestre, que hace que gran cantidad de material fundido mitigue la morfología, quedando mares lisos en amplias extensiones y con mayor abundancia en la cara visible.

El material efusivo nivela los accidentes topográficos, se consolida y sigue recibiendo el impacto de nuevos meteoritos, que basifican a los supuestos basaltos, los que en su ascender han arrancado otras rocas sólidas y bien cristalizadas del manto.

Buen ejemplo es el Mare Imbrium, de 1.300 km. de diámetro, con un hoyo del que se expulsaron 10 millones de km<sup>3</sup> de material, liberando hasta un millón de veces más energía de la que se desprende en la Tierra en un año, con considerable anomalía térmica a gran profundidad, la que ha persistido casi mil millones de años.

Y el Putredinis, con aspectos geológicos muy revueltos e incluso surcos larguísima asimilables, en principio, al deslizarse de meteoritos con bajo ángulo de incidencia, pero causantes de cortes bruscos que pueden dificultar un alunizaje.

La misma idea de buscar un sitio con el menor riesgo de choque configuró un complejo mapa clasificador de cada punto de la zona más recomendable, incluso psicológicamente, para estar "a la vista" de los controles y apo-

yos de Tierra, sobre todo, el enlace por radio.

Por fin, en el Mare Tranquillitatis (hasta el nombre ayudaba) un 16 de julio de 1969 el hombre ponía su primer pie en la Luna y, para nuestro objetivo, algo muy importante: recoger selectivamente muestras de la superficie lunar y traerlas a los laboratorios terrestres.

Se había llegado a la escala humana (10<sup>0</sup> m) en este viaje conocido como el del Apolo 11: el más esperado y el que estableció las bases de futuras exploraciones.

Por la importancia de sus primeras investigaciones, después corroboradas por lo logrado en nuevas visitas y recogida de muestras, nos aconseja utilizar su material por lo que supuso para el avance del conocimiento científico y, en particular, para nuestro objetivo de hoy.

Se encontraron rocas con el aspecto de productos de fusión térmica y acaso efusivas, ahora clasificadas como lava volcánica con cristales preexistentes y enfriamiento rápido, según se observa al microscopio. En seguida, se compararon los resultados analíticos con los basaltos acondríticos terrestres, manifestando aún mayor basicidad (menos sílice), escasos elementos ligeros, pero fuerte contenido en hierro y, sobre todo, titanio.

Este elemento químico es el que anunciábamos junto al hierro como de gran empaquetado nuclear e indicador de cercanía al origen de la materia protoplanetaria.

Para muchos analistas de rocas fue la piedra de escándalo pues no se atrevieron a dar por buenos los altos valores encontrados: hasta 13 y pico %.

Se abrieron el mismo día todos los resultados y quedaron en evidencia los que los habían amañado rebajando los valores a costa de incrementar los alcalinos, tan escasos.

Y eso que había unos antecedentes, pues las sondas no tripuladas ya habían anunciado estos altos contenidos en titanio según los canales de respuesta alfa para nucleidos de masas entre 30 y 60, tal como en 1967 el Surveyor V, en el propio mar de la Tranquilidad y, poco después, el Surveyor VI en el Sinus Medi, muy acordes con los resultados medios del Apolo 11.

Se fotografiaron rocas que emergían con aspecto heterogéneo en superficie, cual si hubiera habido contaminaciones de todo tipo. Por ser las rocas más duras se fijaron en ellas.

Al microscopio (escala de  $10^{-3}$  m), con luz ordinaria, son gabros de grano grueso con grandes cristales de piroxenos atravesados por cristales alargados de plagioclasa básica y, con nicoles cruzados, se observa cómo la plagioclasa básica reemplaza al piroxeno dejando aisladas porciones del mismo.

Por su composición mineralógica y aspecto pueden corresponder al manto lunar, como nos pasa en enclaves referibles al manto terrestre en basaltos efusivos de nuestras Canarias, también con alto contenido en titanio.

En cortes transversales a la superficie pueden observarse perfiles de algún microcráter e incluso posible hierro metálico (negro) al que también se pueden referir ciertas zonas ferruginosas, cuando ha tenido oxígeno para combinarse, quedando gránulos sin alterar.

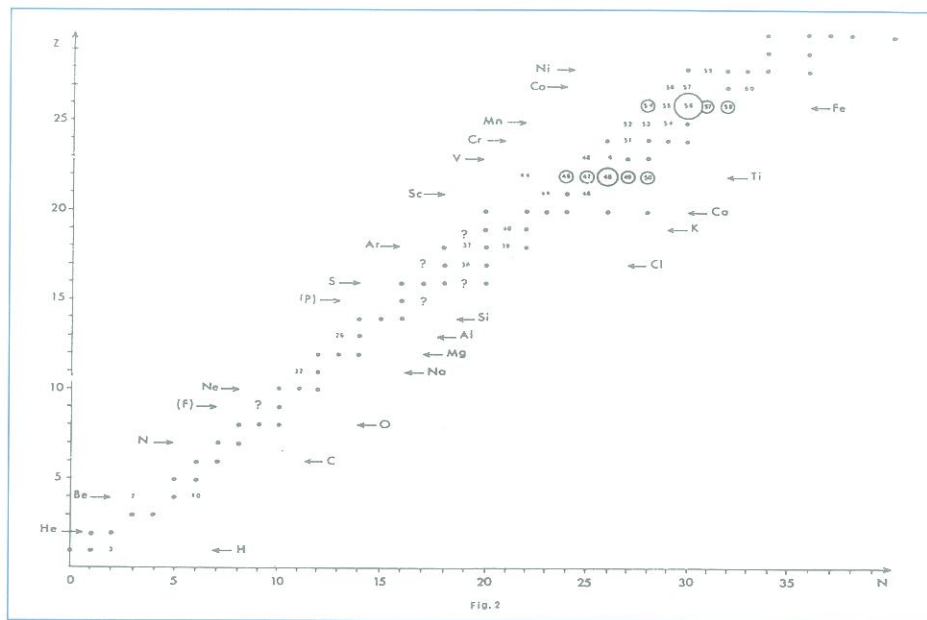
Los petroquímicos no han dejado pasar la ocasión de hacer detallados análisis encontrando la misma tendencia en titanio y hierro, al tiempo que escasez de alcalinos y otros ligeros, al compararlos con gabros terrestres considerados afines.

Pero las sorpresas no acabaron aquí, pues, en verdad, lo que se estaba pisando era el suelo lunar constituido por una granalla que, vista al microscopio, son fragmentos de minerales no redondeados, a diferencia de granos de nuestras arenas, e impregnado todo de hierro.

Lo que aparece redondeado son bolas perfectas de vidrio, o como barras de un vidrio análogo, cual si aquellas se hubieran alargado cuando estaban en enfriamiento. En ocasiones está el cristal de piroxeno fundido en los bordes, y esa parte fundida da una esfera, que es la forma que adoptan los líquidos cuando domina la tensión superficial sobre la gravedad; no como en nuestra Tierra, donde están apretados contra las paredes de los recipientes que los contienen. A estos finos de génesis tan particular se los acaba llamando el regolito lunar.

Como encontramos cristales catacléticos tales como piroxenos y plagioclasas con un bandeo que se debe a presiones del orden de 200.000 atmósferas, nos da idea de la magnitud de los impactos, sólo extrapolables por estudio del efecto de proyectiles de guerra contra piedras ornamentales.

Hay un cuarto grupo de muestras que, de entrada, presentan una granulometría heterogénea en toda su masa y, vistos con luz polarizada, manifiestan su diversidad mineralógica; son las



brechas, que, en sección delgada, muestran los componentes del regolito cementados por un vidrio que, a su vez, llega a englobar bolas de vidrio procedentes del regolito, junto con trozos de minerales. A veces llegan a presentar perfectas vacuolas con gases nobles que no han podido escapar.

Las figuras de cristalizaciones metálicas obligan a pensar en procesos petrogenéticos muy especiales.

En los análisis de brechas y regolito encontramos una gran similitud química apuntando a su génesis, con la particularidad de que la brecha procede del regolito y no, al revés, por desagregación.

A todo esto no son ajenos los impactos meteoríticos, que nos lo están diciendo macroscópicamente con las huellas dejadas en la morfología lunar. La llegada de materiales meteoríticos va acompañada de gran aporte energético en el choque que, a pesar de lo refractario del regolito, llega a fundirlo y a expulsarlo; a veces, junto con los materiales basálticos o gábricos de la corteza lunar, amasándolos a golpes.

Se ha analizado uno de estos eventos, concretamente, el del cráter Copérnico, volviéndose a hacer la fotointerpretación al cabo de los años; lógicamente con mayor variedad en los detalles de la información, que se puede comparar con las buenas fotos actuales hechas fuera de nuestra atmósfera.

Hubo alunizajes humanos posteriores, en particular hasta el Apolo 17, con lo que completaron el número de 6 alunizajes (falló el 13, pero sin des-

gracias personales) y se tomaron muestras selectivas según surgían nuevos criterios.

Poniendo los resultados elementales para los cuatro tipos de rocas en el orden en que las hemos descrito, se destaca cómo los litosféricos: silicio, aluminio y oxígeno, van aumentando, mientras que los del manto, hierro y titanio, disminuyen.

Las explicaciones basadas en la diferenciación geoquímica en esferas de composición, donde cada elemento químico se incluye según sus características, parecían satisfacer y dejar a todos tranquilos, pero se sometieron las muestras a investigaciones de geoquímica nuclear.

Lo que acabamos de decir supone un salto desde los átomos-gramo que maneja el químico a los átomos-átomos, es decir, bajar al orden del 10-23 y, aún más, al considerar sólo el núcleo atómico, prescindiendo de los electrones corticales, y fijándonos en el número de sus constituyentes, los nucleones, como determinantes de las características nucleares.

Un ejemplo muy concreto es el Deuterio de masa 2 por los dos nucleones que tiene en su núcleo y número atómico 1 por ser uno de ellos protón, o dicho de otra manera: es un Hidrógeno de masa 2, o pesado.

Muy poco conocida fuera de los ambientes nucleares es la Tabla de Nucleidos, que así se llaman los entes cuyos núcleos tienen un determinado número de neutrones (número neutrónico N) y, análogamente, de protones (número atómico Z).

## NUCLEIDOS RADIOACTIVOS ENCONTRADOS

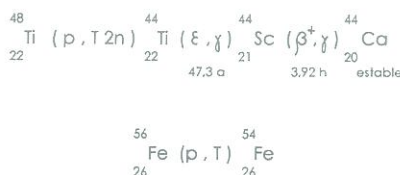
| Nucleido radiactivo | Periodo semi-desintegración | Desintegración radiactiva | Nucleido estable  |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|
| <sup>3</sup> H      | 12,3 a                      | β                         | <sup>3</sup> He   |
| <sup>7</sup> Be     | 53,4 d                      | ε                         | <sup>7</sup> Li   |
| <sup>19</sup> Ne    | 17,4 s                      | β+                        | <sup>19</sup> F   |
| <sup>22</sup> Na    | 2,6 a                       | β+                        | <sup>22</sup> Ne  |
| <sup>23</sup> Ne    | 38 s                        | β                         | <sup>23</sup> Na  |
| <sup>24</sup> Na    | 15,03 h                     | β                         | <sup>24</sup> Mg  |
| <sup>26</sup> Al    | 6,36 s                      | β+                        | <sup>26</sup> Mg  |
| <sup>28</sup> Al    | 2,24 min                    | β                         | <sup>28</sup> Si  |
| <sup>37</sup> Ar    | 35,1 d                      | ε                         | <sup>37</sup> Cl  |
| <sup>39</sup> Ar    | 269 a                       | β                         | <sup>39</sup> K   |
| <sup>44</sup> Ti    | 47,3 a                      | ε ε                       | <sup>44</sup> Ca  |
| <sup>46</sup> Sc    | 84 d                        | β                         | <sup>46</sup> Ti  |
| <sup>48</sup> V     | 15,97 d                     | ε                         | <sup>48</sup> Ti  |
| <sup>51</sup> Cr    | 27,7 d                      | ε                         | <sup>51</sup> V   |
| <sup>54</sup> Mn    | 312 d                       | ε                         | <sup>54</sup> Cr  |
| <sup>56</sup> Co    | 77,3 d                      | ε                         | <sup>56</sup> Fe  |
| <sup>57</sup> Co    | 270 d                       | ε                         | <sup>57</sup> Fe  |
| <sup>232</sup> Th   |                             |                           | <sup>208</sup> Pb |
| <sup>235</sup> U    |                             |                           | <sup>207</sup> Pb |
| <sup>238</sup> U    |                             |                           | <sup>206</sup> Pb |

Tomando como ejes X e Y, respectivamente, N y Z, incluyendo cantidades de diferentes parámetros reflejo de sus características nucleares, hubiera sido el sueño de los alquimistas ya que unos elementos se transmutan en otros de manera natural o por diversas acciones controlables.

Como los nucleidos de la Luna, según sabemos hasta ahora, se comportan como los terrestres en su estabilidad nuclear y las transmutaciones son estadísticamente función del tiempo, en seguida surgió preguntar su edad a la señora Luna. Para eso se utilizan las cantidades presentes de nucleidos relacionados y, en este caso, las relaciones entre los cabezas de familia radiactiva uranios 235 y 238 y los respectivos plomos finales de masas 207 y 206, con lo que se llega a valores de  $4,60 \cdot 10^9$  años para regolito y  $4,49 \cdot 10^9$  años para las rocas.

Una tabla de nucleidos muy completa en su información y útil en su manejo es la que diferencia el comportamiento radiactivo; por ejemplo, los estables aparecen destacados, mientras que los isótopos con más neutrones se estabilizan emitiendo electrones del núcleo, es la llamada

## Obtención de Tritio por espalación



radiación β, mientras que los deficientes en neutrones capturan electrones para su núcleo, y se expresa por ε, o emiten electrones positivos, β+.

Un caso curioso se planteó con el argón que tiene varios isótopos; son estables los de masa 36, 38 y 40, e inestables, entre otros, el 37 y el 39. El método de datación emplea el paso de potasio-40 a argón-40, pero, dada la cercanía, puede interferir el argón-39, por lo que se hizo la determinación de los distintos isótopos del argón, resultando significativas las cantidades de las masas 37 y 39.

Pero ambos tienen un periodo de semidesintegración muy corto: 36,1 días y 262 años respectivamente, luego, si en estos breves tiempos se reduce a la mitad la cantidad presente por mucho que hubiera en un principio (lo cual repugna), al poco tiempo quedaría cantidades indetectables.

Consecuencia: se tienen que estar produciendo ahora.

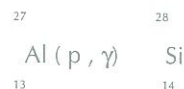
Lo anterior no es un caso aislado, por lo que en el esquema de la tabla N-Z se han puesto las masas de los encontrados en la Luna y circundados, proporcionalmente a su abundancia, los que aparecen en demasía, es decir, hierro y titanio.

Mejor será poner los radiactivos encontrados, en una de esas célebres tablas a las que tan devotos somos los científicos, y así veremos que, con excepción de los pertenecientes a las familias largas que ya sirvieron para la datación, la mayoría tiene unos periodos de semidesintegración muy breves y algunos pudieron aparentemente desaparecer al quedar por debajo del límite de perceptibilidad de los métodos analíticos, en los cuatros días que tardaron en venir a la Tierra.

Fue tomando consistencia la teoría de una nucleogénesis por reacciones de espalación, producidas por la radiación corpuscular emitida por el Sol, llamada viento solar, constituida por partículas cargadas de electricidad, básicamente protones y electrones. Esta radiación emerge a velocidades comprendidas entre 100 y 200 km/s y en

una cantidad que varía con el estado del Sol.

Por eso, al Apolo 12 se le dotó de un contador de protones. Bueno: de una lámina de aluminio que se expuso de manera controlada para obtener

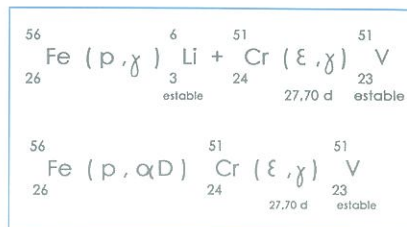


con la sencillez de que es el único isótopo del aluminio terrestre y el silicio producido es estable. El problema era la escasa cantidad obtenida.

Además, se trajeron una pata del Surveyor 3 que estaba recubierta de titanio para evitar ser engullida por reacción con el material del suelo lunar y, de forma orientada, llevaba expuesta más de treinta meses al viento solar.

Veamos algunas de las reacciones de los protones del tal viento tomando como blanco los nucleidos en superabundancia: hierro y titanio

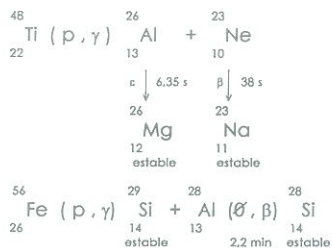
Se puede obtener tritio por espalación en el área del titanio hasta calcio estable y en el área del hierro, dando otro isótopo estable de éste. El tritio por desintegración beta pasa a helio-3 estable. En la espalación, tras la incorporación del protón y a consecuencia del choque, se produce la rotura del núcleo, al tiempo que hace saltar núcleos ligeros y quedarán las posibilidades de que sea el litio estable o que sean una partícula alfa y un núcleo de deuterio los que saltan para quedar el cromo radiactivo encontrado que, a su vez, por captura electrónica, pasa a vanadio estable.



Con mucho interés se buscó el aluminio necesario para los tan abundantes silicoaluminatos de nuestra Litósfera, y, en efecto, se encontraron isótopos radiactivos de aluminio que, en su proceder, dan sodio y magnesio o isótopos de silicio, también estables y muy necesarios.

Algo similar pasó con los sodios, tan necesarios para los feldespatos, pero lo que parece que se forma cuando llegan al equilibrio son aluminio, cloro

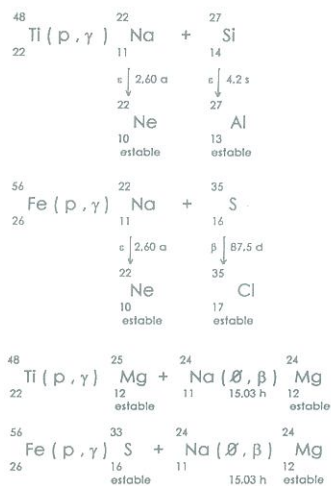
### Obtención de Aluminio radiactivo por fisión protónica



y gas noble neón. O magnesio y azufre, que suelen ser característicos de rocas básicas. En verdad éstas son reacciones de fisión nuclear.

Al haber ausencia de atmósfera, el viento solar actúa de manera intensiva y produce múltiples reacciones nucleares de espalación y de fisión, con la consecuencia de partir núcleos terrestremente estables e ir nutriendo de ligeros a aquella futura litosfera, al originarse los primeros términos de la Tabla periódica.

### Producción de Sodio radiactivo por fisión



Pudiéramos decir que la Luna está terrificándose por acción del viento solar, para que cuando pudiera ser perjudicial se tampone su acción por la posible atmósfera que, a la velocidad de transformación que presenta, tardará muchos miles de millones de años en conseguirlo y con moléculas que no escapen a su gravedad, si bien ésta va en aumento por el aporte meteorítico.

En 1970 se lanzó una hipótesis no desmentida a pesar del tiempo transcurrido. La cara oculta es la mejor expuesta al viento solar cuando está

frente al Sol, momento en que la visible no se ve afectada, mientras que en plenilunio la cara oculta no recibe nada y la visible ve mitigada la incidencia del viento solar a causa de la botella magnética de la Tierra, con el resultado de aparecer una intensidad distinta según de que cara se trata en cada fase de la Luna.

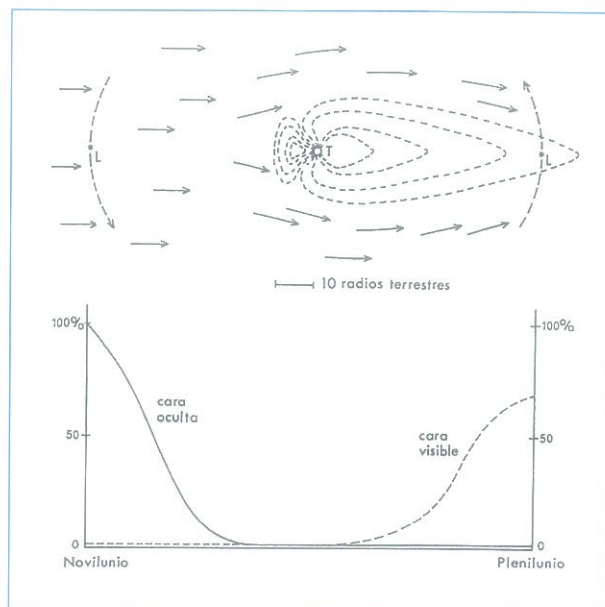
Una brecha traída de los montes Cayley por el Apolo 16 y que presenta una costra de elementos ligeros sólo en superficie, indica que son procesos de escasa penetración y que corresponden a un estadio muy primitivo con respecto a nuestra Tierra. Si sólo hay nucleidos estables no se puede reconocer su origen.

No resistimos a la tentación de hacer una referencia al contenido en tierras raras, donde también como en la Tierra hay un bajón en el europio, indicando unos materiales originales idénticos y no sujetos a nucleogénesis especial.

Acabada la visita directa del hombre, son los ingenios mecánicos los encargados de obtener información a contrastar con lo testimonial. Las muestras se cogen en posición e incluso en profundidad, y son enviadas en una pequeña cápsula, debidamente protegidas, a la Tierra. Este procedimiento es mucho menos costoso y casi ausente de riesgo humano; hasta la recuperación es mucho más sencilla, así por las señales de radio se supo dónde aterrizó el Luna 20.

Y es que el mundo práctico no se resigna a perder un terreno al que, en principio, no le falta más que agua! para recambio hídrico personal de cada día, para tener oxígeno que respirar, para tener plantas frescas, para los procesos industriales, etc., etc.

Por eso se han enviado ingenios sofisticados como el "Lunar prospector" con su reflectómetro de electrones, para detectar los rebatados del viento solar y determinar variaciones locales del campo magnético junto con el magnetómetro, apto para el débil campo magnético de la Luna (1.000 nanoteslas). El espectrómetro de rayos gamma, para cartografiar la abundancia de



diez elementos en la superficie lunar: uranio, torio, potasio, oxígeno, silicio, aluminio, calcio, magnesio, hierro y titanio; los primeros por su radiactividad natural y los restantes por su respuesta al bombardeo de los rayos cósmicos. Otro de los componentes científicos es un espectrómetro alfa, que detectará las partículas emitidas por gases radiactivos como el radón o sus productos de desintegración. Un espectrómetro de neutrones, para buscar indicios de agua helada en zonas de sombra de los cráteres del polo sur, como sugieren los datos obtenidos por señales de radar por la sonda Clementina, lanzada en 1994; se trata de ralentizar neutrones mediante choque con los átomos de hidrógeno del agua, obteniendo perfiles en cada circunvolución.

Después de dar 6.800 giros en los últimos 18 meses, su final era estrellarse de forma controlada en la pared de un gran cráter del polo sur lunar; si tropezó con hielo debiera haber vaporizado unos 25 kg. de agua, formando una nube visible en el infrarrojo y en el ultravioleta.

Hoy aún no tenemos noticias fidedignas.

Por ese agua, no más que hidrógeno y oxígeno, unos nucleidos muy sencillos, la aparente luna de la Luna es nuestro planeta azul, del cual tan difícil nos resulta salir.

La Organización nos depara una noche de magnífico plenilunio; en su contemplación es posible que nos extasiemos pensando en las maravillas de la Naturaleza, las cuales apenas somos capaces de entrever.