

La Luna, enigmático satélite

Julio SOLÍS GARCÍA

AEMET, Delegación Territorial en Andalucía, Ceuta y Melilla
carontesg@yahoo.es

Resumen: Estamos tan acostumbrados a la presencia de la Luna en nuestras vidas que no nos damos cuenta de lo singular que es. No existe nada parecido en todo el Sistema Solar, salvo posiblemente el caso del planeta doble Plutón-Caronte. Ha marcado el desarrollo de la vida en la Tierra y toda la evolución humana, casi sin percatarnos de ello. Desde su singular nacimiento, fruto de un cataclismo planetario, hasta los efectos orbitales en el movimiento de la Tierra, pasando por los eclipses (únicos en todo el Sistema Solar), las mareas, sus fases, su rotación capturada, su hipnótico aspecto ante nuestros ojos (y no digamos ante un telescopio), y su fuente de inspiración en narraciones míticas y leyendas a lo largo de todas las civilizaciones humanas, la Luna es un astro tan especial como familiar para los moradores de este planeta azul. La Luna es el primer cuerpo extraterrestre que el Hombre ha pisado, y ya forma parte de los proyectos futuros como base intermedia para la exploración espacial del Sistema Solar y como fuente de recursos minerales, e incluso de agua (aunque parezca sorprendente), al menos para el sostenimiento autónomo de bases permanentes. La otra faceta lunar que no nos faltará es la relacionada con el arte, la poesía, la mitología y resto de proyecciones humanas en todos los objetos que pueblan nuestros cielos.

Palabras clave: Luna; Sinestesia; Theia; satélite; marea; eclipse; Apolo; regolito; mar lunar; cara oculta.

1. DESCUBRIENDO NUESTRO SATÉLITE

*«La cosa más maravillosa que se puede experimentar es el misterio...
 Es la fuente de todo arte y ciencia verdaderos».*
Albert Einstein (1879-1955)

El cuerpo celeste que resulta más familiar y conocido, aparte del Sol, es la Luna. A cualquier persona que se le pregunte por la Luna dirá que se ve en el cielo, que es muy brillante con una luz blanca intensa, que presenta zonas claras y oscuras, que presenta fases en un ciclo aproximado de 28 días y que cada día se puede localizar en un sitio diferente del cielo, siguiendo un movimiento hacia el este contrario al movimiento diario general hacia el oeste de toda la bóveda celeste.

Con el desarrollo de los telescopios, y posteriormente con las imágenes enviadas por los vehículos espaciales que han visitado el satélite, esas zonas claras y oscuras se mostraron en todo su esplendor, repletas de cráteres, fallas, montañas y cordilleras, planicies... catalogándose de una manera general en dos grandes grupos: las zonas más blancas denominadas tierras o continentes (*terrae*), zonas abruptas con multitud de accidentes morfológicos que ocupan algo menos del 70 % de la superficie de la cara visible y casi la totalidad de la cara oculta. Las zonas más oscuras se denominan mares (*mare o maria* en latín), por lo que creían que eran los primeros observadores lunares sin instrumentos ópticos de cierta calidad. Son grandes planicies sin apenas accidentes morfológicos. Los mares lunares, que ocupan algo más del 30 % de la superficie de la cara visible, son casi inexistentes en la cara oculta, con ~1 % de su superficie (figuras 1 y 2).



Figura 1. Fotografía de la cara visible de la Luna.
(NASA).



Figura 2. Fotografía de la cara oculta de la Luna
obtenida por el orbitador de reconocimiento lunar
(LRO) de NASA/Centro de Vuelo Espacial Goddard/
Universidad Estatal de Arizona (EE. UU.).

Analizando con más detalle esas zonas claras y oscuras (tierra y mares), se observan múltiples variedades del relieve, que se han denominado bahías (*sinus*), lagos (*lacus*), y lagunas o pantanos (*palus*), para el caso de las zonas oscuras o mares.

Para las zonas claras o tierras, la variedad de accidentes es aún mayor, destacando las grietas (*rimae*), cortados escarpados estrechos (por ejemplo, Rima Hyginus); los valles (*vallis*), entre los que se pueden mencionar el valle Alpino, el valle Rheita o el valle Achröteri; las fallas (*rupes*), especie de barrancos como el denominado el Muro Recto (Rupes Recta); las cordilleras y montañas (*montes/mons*), zonas montañosas de hasta 1000 km de longitud y 6500 m de altitud, como por ejemplo: Alpes, Caucasus, Apenninus y Carpathus para el caso de las cordilleras, y Mons Piton o Mons Pico con más de 2000 m de altitud, entre los montes; los anillos montañosos (*anulus montuosus*), con diámetros de entre 25 y 100 km, siendo algunos de los más significativos Alphonsus y Copernicus; las planicies amuralladas (*planitia moenibus circumdata*), que son grandes circos poligonales o circulares con diámetros que en ocasiones pueden superar los 100 km, siendo Clavius y Plato dos de los más destacados; los circos (*circus*), originados por erupciones volcánicas y sobre todo por impactos de meteoritos. Tycho, que destaca por su sistema de radiaciones, es uno de los más conocidos y fácilmente visible desde la Tierra.

Por último, cabe mencionar los cráteres (*crater*), que son formaciones que salpican toda la Luna, sobre todo la cara oculta, y tienen un tamaño variable presentando algunos un pico central. Se les ha nombrado habitualmente con el nombre de eminentes astrónomos, matemáticos, filósofos, etc., siendo algunos de los más destacables los cráteres Kepler, Aristarchus o Proclus, situados en el centro de sus respectivos sistemas radiales. La Luna no presenta ningún tipo de actividad geológica ni cráter de origen volcánico activo en la actualidad.

Cerca del polo sur lunar existe una gran depresión de 2500 km de diámetro y 12 km de profundidad, un gran cráter o cuenca de impacto denominado cuenca Aitken, y que según proponen los modelos más recientes, puede tener su origen en un fuerte impacto de algún gran cuerpo celeste, ocurrido algunos millones de años después de su formación, que provocó una lluvia de material, durante decenas de millones de años, tanto en la Tierra como en la Luna, generando nuevos cráteres y cuencas de impacto en la Luna, y originando ciertas asimetrías en el satélite.

A pesar de esa cercanía física y emocional, la superficie lunar es todo lo opuesto a la superficie de nuestro planeta... su cielo siempre es negro, de día y de noche, pues no tiene atmósfera significativa y solamente vestigios de ciertos gases. No hay viento, ni océanos, ni ríos que reconfiguren su superficie a través de la erosión, aunque sí existen fenómenos erosivos poco significativos causados por los impactos de meteoritos, micrometeoritos, viento solar, rayos cósmicos, y por las diferencias de temperatura en las zonas de sol/sombra que dilatan y contraen las rocas.

Tampoco hay estaciones en la Luna, ni nada que la proteja de los meteoritos, de la radiación solar y de los rayos cósmicos, salvo nuestro propio planeta, que tiene cierto efecto de apantallamiento en lo que a caída de meteoritos se refiere en el hemisferio que siempre *nos mira*, porque la Luna muestra en todo momento la misma cara debido a su rotación capturada, cuyo periodo coincide con el tiempo que tarda en orbitar alrededor de la Tierra, y por tanto siempre ha mantenido fuera de nuestra vista la *cara oculta* hasta que se logró fotografiarla mediante vehículos espaciales lanzados al espacio.

Esa cara oculta es completamente diferente a la cara visible, repleta de mares, inexistentes en la parte expuesta al espacio exterior. De esta forma la Luna conserva un registro del pasado, cuyas huellas se mantienen en el tiempo prácticamente intactas permitiendo estudiar inalterados los efectos de su convulso origen, y de paso, del propio origen de la Tierra.

2. ORIGEN Y ESTRUCTURA

«Me gusta pensar que la luna está ahí, incluso si no estoy mirando».
Albert Einstein (1879-1955)

Existen diversas hipótesis acerca del momento y de la manera en la que se formó La Luna, unas son más aceptadas que otras entre la comunidad científica, pero todas tienen dificultades para explicar algunos detalles que siguen sin resolverse y que en alguna medida las cuestionan. Sí parece haber consenso, en cambio, en que la Luna se formó durante los primeros 500 millones de años posteriores al nacimiento del Sistema Solar y de la Tierra primitiva.

Uno de los modelos teóricos que explicaría la formación de la Luna es el denominado de *fisión*, en el que una Tierra primitiva se fragmentaría debido a su alta velocidad de rotación dando lugar a lo que hoy es la Luna e incluso al planeta Marte. Esta hipótesis no explicaría de forma convincente las órbitas de ninguno de los dos, por lo que ha sido prácticamente descartada.

Una segunda hipótesis, más aceptada que la anterior y que encaja bien con los modelos más aceptados de formación planetaria, propone que la Luna y la Tierra se formaron a la vez en la misma nube de gas y polvo como dos objetos separados. Pero rápidamente se encuentran ciertas características lunares que no pueden explicarse bajo este modelo, una de las más notables es la diferente composición de sus núcleos, que en el caso de la Tierra cuenta con una importante presencia de hierro mientras que en el de la Luna es mucho menor. Dentro de este grupo de hipótesis destaca la que podríamos llamar de *múltiples impactos*, que sugieren la formación de la Luna como el resultado de acumulación de desechos y restos de numerosos impactos, dando lugar a lo que es actualmente, quedando en órbita alrededor de la Tierra. Estas hipótesis de múltiples impactos no explicarían la singularidad del caso terrestre respecto a sus vecinos Venus y Marte, que no han desarrollado la formación de satélites de forma similar. Venus no tiene satélites a pesar de ser un planeta *gemelo* de la Tierra, y Marte tiene dos pequeños satélites irregulares que parecen ser más bien asteroides capturados del cercano Cinturón de Asteroides que se encuentra entre las órbitas de Júpiter y Marte.

Se ha propuesto también un modelo denominado de *captura*, que supone una formación de la Luna y de la Tierra en lugares y momentos distintos, y que tras un encuentro fortuito la Luna resultó capturada por la Tierra. Esta hipótesis tampoco explica los parámetros orbitales de nuestro satélite, extremadamente difíciles de cumplir en un proceso de captura, ni el bajo contenido de hierro en el interior lunar.

Tras los análisis del material lunar recogido de la Luna, sobre todo en las misiones Apolo, y la generación de modelos desarrollados en los nuevos supercomputadores, la hipótesis que genera más consenso actualmente entre los científicos, es la de un gran impacto catastrófico entre la primitiva Tierra y otro gran objeto de tamaño planetario denominado Theia (figuras 3 y 4), que giraba alrededor del Sol en una órbita cercana a la de la Tierra.



Figura 3. Recreación artística del choque cataclísmico entre el planeta Theia y la Tierra. (NASA/JPL-Caltech).

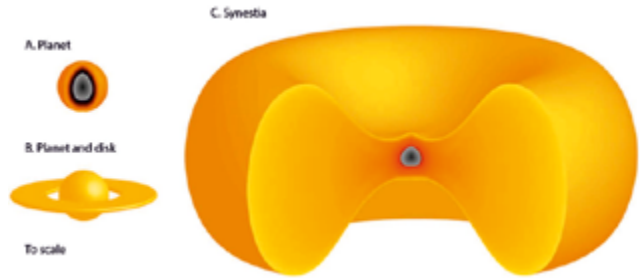


Figura 4. Planeta, planeta con anillos y Sinestia, los tres con la misma masa. Imagen de Simon Lock (Harvard). Vía Universidad de California en Davis.

Este gigantesco impacto originó que una Tierra en formación se recompusiera fundiéndose de nuevo tras su incipiente enfriamiento desde su formación original, quedando ambos astros ligados en un solo objeto magmático denominado Sinestia, hasta que fueron paulatinamente recuperando la configuración actual de dos cuerpos esféricos separados.

Las composiciones químicas y mineralógicas de la Tierra y de la Luna muestran diferencias tan notables que debilitan las hipótesis de un origen común en la misma nube protoplanetaria, sobre todo teniendo en cuenta el tamaño relativamente similar de los dos cuerpos. Las últimas investigaciones al respecto se han centrado en las condiciones físico-químicas reinantes durante la formación de las rocas lunares y las encontradas en amplias zonas de la corteza terrestre, que refuerzan la hipótesis del choque entre Theia y la Tierra primitiva.

El análisis isotópico del cloro y de otros elementos químicos presentes en las rocas superficiales lunares ha determinado que en la Luna las rocas contienen una mayor concentración de isótopos pesados, poco hierro y baja presencia de elementos volátiles, al contrario que en minerales terrestres de similares características, lo que encaja bien con la suposición de que la Tierra atrajo hacia ella mayor cantidad de elementos y compuestos volátiles tras el cataclísmico encuentro planetario.

Los más recientes estudios sobre los grandes impactos catastróficos durante la formación planetaria concluyen que lo que se forma tras semejantes cataclismos cósmicos no son desechos, escombros, y discos de materiales más o menos grandes alrededor del protoplaneta impactado, sino una *sinestia*, que es algo parecido a una gigantesca rosquilla (similar a un *dónut* pero sin agujero central) de material rocoso vaporizado, una especie de magma a medio camino entre sólido y líquido, un cuerpo fundido resultado del colosal impacto, que ni es un anillo ni un cuerpo esférico, y que con el tiempo se enfría y se solidifica en los cuerpos planetarios definitivos, como son la Tierra y la Luna actuales.

Existe una teoría más relacionada con el origen de la Luna, algo impactante que a simple vista parecería conspiranoica o directamente perteneciente a la ciencia ficción. Alexander Shcherbakov y Mikhail Vasin, científicos soviéticos de la Academia Soviética de Ciencias, propusieron a finales de la década de los años 60 del pasado siglo una teoría acerca del origen de la Luna, que explicaba de alguna manera la larguísima serie de características singulares y rarezas

de nuestro satélite, y que ninguna de las otras hipótesis más ortodoxas conseguían explicar. La hipótesis soviética propone que la Luna es en realidad un satélite artificial de la Tierra colocado en órbita por seres inteligentes desconocidos. La Luna podría ser una especie de arca de Noé o una nave espacial fallida que tuvo que dejarse estacionada.

Esta hipótesis tan extravagante sobre el origen de la Luna no lo es tanto a la luz de la enorme cantidad de peculiaridades lunares, y que las investigaciones presentes y futuras se encargarán de desmentir o confirmar, porque a día de hoy lo cierto es que nuestra querida Luna es un objeto único y singular, raro como pocos en todo el Sistema Solar.

La idea, prácticamente desechada en el ámbito científico, de que la Luna es una nave espacial extraterrestre abandonada en órbita alrededor de la Tierra, recobró algo de actualidad, en el año 2017, con el descubrimiento del objeto interestelar Oumuamua, que atravesó el Sistema Solar en una órbita marcadamente hiperbólica y que parecía provenir de alguna zona del cielo próxima a la estrella Vega (Alfa Lyrae). Este objeto, descubierto por los telescopios situados en el observatorio de Haleakala en la isla de Maui (Hawái), se nombró Oumuamua que en hawaiano significa «mensajero de lejos que llega primero»; alargado y rojizo, con forma de palo, con 400 m de largo y unos 40 m de ancho, llamó rápidamente la atención de los astrofísicos por su comportamiento y características, llegando algunos a postular que se trataba de una nave espacial extraterrestre, o al menos un objeto artificial. En todo caso, parece que tanto la Luna como Oumuamua resultarían ideales como naves interestelares, protegiendo su interior de radiaciones, temperaturas extremas, impactos... en un espacio interestelar tan inmenso como hostil.

Continuando con las características que hacen de la Luna un astro tan especial, y antes de analizar lo que se conoce de su estructura interna, salta a la vista su gran tamaño en relación con el planeta Tierra. Es el único planeta doble del Sistema Solar, no se encontrará nada parecido entre todos los planetas de nuestro sistema planetario a excepción del planeta enano Plutón y su gran luna Caronte, que también presentan unos tamaños relativamente similares entre ellos.

La Luna tiene una densidad media de $3,344 \text{ g cm}^{-3}$, algo más de la mitad de la terrestre ($5,52 \text{ g cm}^{-3}$) que es la mayor entre todos los planetas del Sistema Solar, y una gravedad superficial de $1,623 \text{ m s}^{-2}$, seis veces menor que la que se soporta en la superficie terrestre, ¡una persona de 90 kg que visitara nuestro satélite, en la Luna pesaría 15 kg!

Superficie desnuda, cielo siempre negro y silencio absoluto, sin atmósfera apreciable, expuesta directamente al espacio, a la radiación solar, a los rayos cósmicos, a los meteoritos y micrometeoritos, y sin campo magnético. Sin agua líquida y con temperaturas de $92 \text{ }^\circ\text{C}$ en las zonas iluminadas por el Sol y de $-169 \text{ }^\circ\text{C}$ en las zonas nocturnas o en sombra, la Luna no muestra unas condiciones mínimas capaces de soportar la vida. La Luna se aleja $\sim 4 \text{ m/siglo}$ de la Tierra, lo que hace suponer que hace más de 3000 millones de años, las mareas eran mucho más violentas y energéticas, y los efectos gravitacionales de la Luna muchísimo más notorios, pudiendo afectar a la aparición y evolución de la vida en edades tempranas. Se estima que hace unos 900 millones de años, el día terrestre tenía una duración de unas 19 horas y el año unos 464 días.

La superficie de la Luna está cubierta por *regolito*, una capa de varios metros de espesor que cubre la corteza lunar, y que es una mezcla de polvo, rocas desmenuzadas, escombros y granos sólidos muy pequeños, resultado de impactos y de la erosión provocada por los cambios bruscos de temperatura. Su textura es similar a la de la arena de zonas desérticas terrestres y tiene un color gris. Prácticamente todo el conocimiento que se tiene hoy en día de la mineralogía lunar se ha obtenido de los análisis de los más de 380 kg de material recogido por las diferentes misiones Apolo (EE. UU.), y por las muestras que han podido traer a los laboratorios terrestres las sondas automáticas soviéticas del programa Luna.

De acuerdo con la hipótesis más sólida acerca de la formación de la Luna, la de un gran impacto entre el cuerpo planetario Theia y la Tierra original, que dio lugar a la Luna y Tierra actuales hace más de 4000 millones de años, el exterior lunar quedó formado por una gran

capa de magma de unos 500 km de grosor. Esa capa de roca fundida se fue enfriando y cristalizando con el tiempo, quedando en la parte más externa una capa de minerales poco densos (anortositas) de unos 40 km de espesor, flotando sobre otra capa de minerales más densos ricos en hierro y magnesio (ultramáficos). El enfriamiento, cristalización, y diferenciación por las diferentes densidades de las rocas de ese océano de roca fundida, configuró la corteza y el manto lunares.

Por encima de la corteza, en la superficie de la Luna, se encuentran trazas de gases como Ar, Ne, Na, He, K e H, que resultaría algo exagerado denominar atmósfera, pues tienen en conjunto una densidad casi tan baja como la del espacio vacío, que además desaparece prácticamente por completo durante la noche lunar. En la corteza lunar, desde la superficie hasta unas profundidades de entre ~50 y ~100 km se encuentran dos áreas bien diferenciadas, por un lado las situadas en las tierras altas hasta una profundidad de unos 10 km, con presencia de rocas ígneas ricas en hierro y magnesio (minerales máficos) cerca de la superficie, cubriendo otra capa más profunda de anortositas hasta el manto, y por otro en los mares, mayoritariamente compuestos por basaltos en la parte más exterior y por anortositas en el interior hasta el manto.

La corteza es sensiblemente más delgada en la cara visible que en la cara oculta, debido a que siempre presenta el mismo hemisferio hacia la Tierra (rotación capturada o síncrona); esta circunstancia hace que el manto lunar se haya visto desplazado en dirección a nuestro planeta, que tira fuertemente del mismo, quedando desplazado con respecto al centro geométrico lunar. La consecuencia es la disminución del espesor de la corteza en el lado más próximo a la Tierra, que alcanza su valor mínimo bajo los mares lunares, doblando prácticamente su espesor en la cara oculta, plagada de cráteres y sin mares.

Entre la corteza y el núcleo se encuentra el manto, de unos 1300 km de espesor, compuesto por gabro en su parte más cercana a la corteza, y por peridotita más hacia el interior, donde se encuentra una capa de roca semifundida que lo separa del núcleo. Se cree que ese estado semifundido se debe a las fuerzas de marea generadas por la Tierra.

El núcleo lunar, de ~340 km de espesor y rico en hierro, se encuentra en estado sólido, aunque la parte exterior que lo separa del manto, de ~90 km de espesor, se encuentra parcialmente fundida (figura 5).

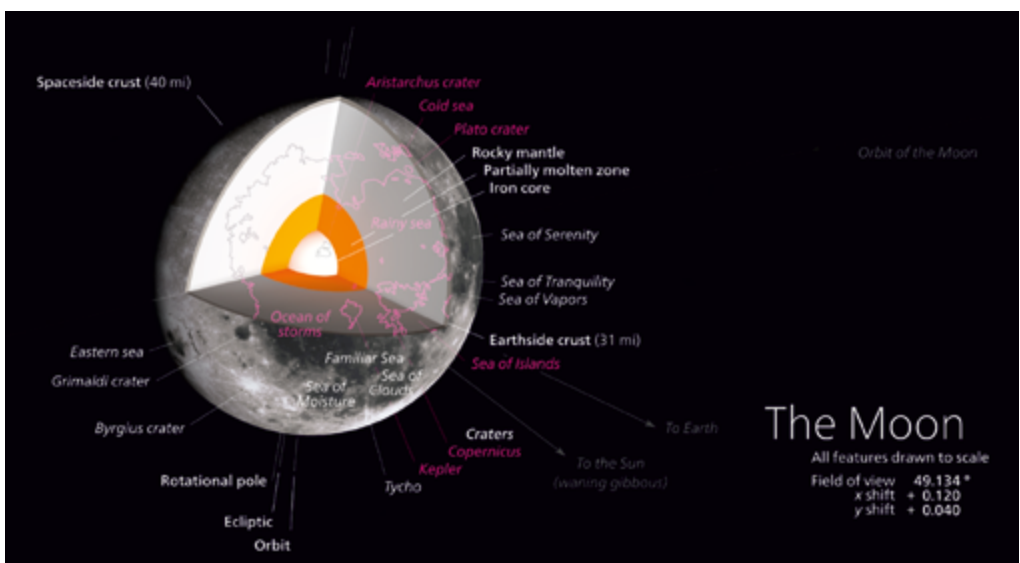


Figura 5. Estructura interna de la Luna. Wikimedia Commons.

La composición química general de las rocas lunares es similar a la del manto silicatado terrestre, pobre en elementos volátiles (H, He, N, C, P) y rica en elementos refractarios (O, Si, Al, Ca, Ti, Mg, Fe). Las plagioclasas, piroxenos, olivinos, óxidos de hierro y titanio, son los minerales más abundantes, aunque en las rocas superficiales existe mayor presencia de basaltos, anortositas, noritas y troctolitas. Los impactos de grandes meteoritos en edades tempranas y medias removieron grandes zonas de la corteza y del manto, dando lugar a brechas de impacto y cuencas multianillo, generando extensas coladas de lavas basálticas procedentes del manto que al enfriarse han dado lugar a los mares lunares actuales. En el manto son frecuentes los gabros y las peridotitas. Cabe destacar las acumulaciones de hielo de H₂O en el fondo de algunos cráteres cercanos a las zonas polares y en las zonas ocultas permanentemente a la luz solar.

3. ECLIPSES

«La luna asombra mi vida como si fuera una ilusión».

Juan Ramón Jiménez (1881-1958)

Las peculiaridades lunares no terminan con lo visto hasta ahora; en lo relativo a los eclipses en el sistema Tierra-Luna no se encontrará nada parecido en todo el Sistema Solar. El tamaño aparente de la Luna en el cielo coincide casi completamente con el del Sol, y la Luna se mueve alrededor de la Tierra en un plano prácticamente coincidente con la eclíptica (5°) en lugar de hacerlo en el plano ecuatorial, como cabría esperar y ocurre en la mayoría de satélites no capturados de otros planetas. La eclíptica es el camino aparente que sigue el Sol en el cielo (y todos los planetas con algunas desviaciones mínimas, salvo Mercurio cuyo plano orbital se aparta de la eclíptica en 7°). Ambas circunstancias son ciertamente muy singulares.

La Luna gira sobre sí misma en algo más de 27 días, aunque debido al movimiento de la Tierra alrededor del Sol, a la que acompaña la Luna, su rotación (periodo sinódico), de luna nueva a luna nueva, es de algo más de 29 días. Los eclipses en el sistema Tierra-Luna solamente se producen cuando el Sol, la Tierra y la Luna están alineados, es decir, cuando la luna llena o la luna nueva cruzan la eclíptica.

Los eclipses de Luna se producen cuando nuestro satélite se introduce en el cono de sombra que proyecta la Tierra hacia el espacio en dirección opuesta al Sol. Como el astro rey no es una fuente puntual de luz sino que se ve como un disco de un diámetro de 32' de arco en el cielo, el cono de sombra proyectado por nuestro planeta presenta dos zonas diferenciadas, la umbra (sombra) y la penumbra; en la primera la luz del Sol queda totalmente bloqueada y en la segunda la luz solar queda oculta parcialmente. Por tanto, existen tres tipos de eclipses de Luna: total, parcial y penumbral (figura 6).

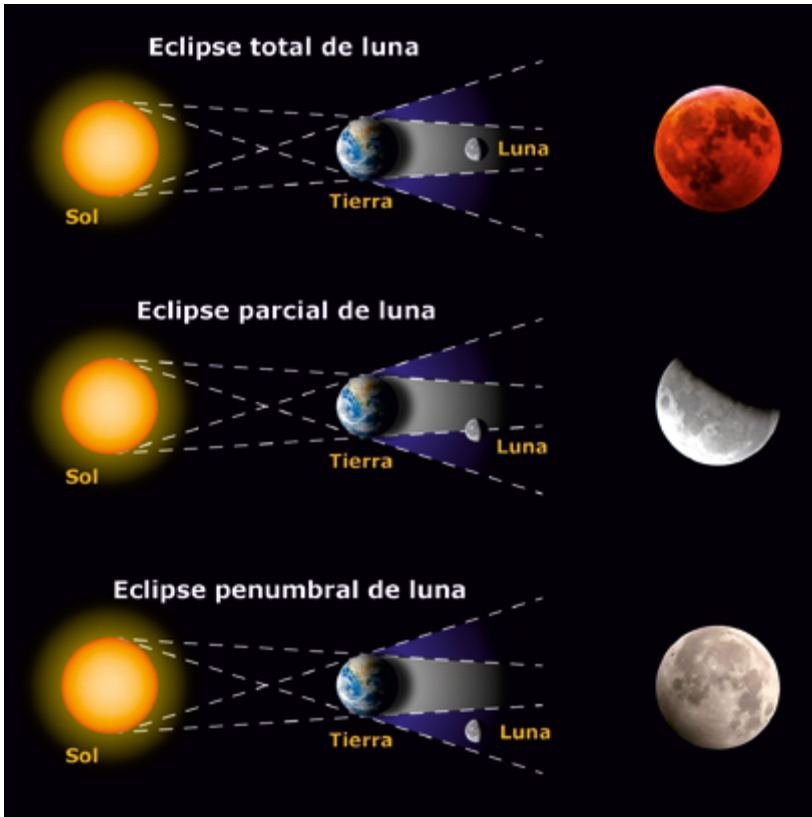


Figura 6. Eclipses de Luna: total, parcial y penumbral, según pase el satélite por la zona de penumbra o sombra (umbra). (Instituto Geográfico Catastral – Observatorio Astronómico Nacional).

Se puede decir que se observa un eclipse total de Luna cuando esta, en fase de luna llena, se sitúe completamente en la zona de sombra (umbra) de la Tierra (figuras 7 y 8). Durante los eclipses totales de Luna, el satélite adquiere un color rojizo característico debido a la dispersión de la luz refractada por la atmósfera de la Tierra. Los eclipses lunares pueden ser vistos desde cualquier parte de la Tierra en la que sea de noche y tienen una duración de varias horas.



Figura 7. Eclipse total de Luna desde Málaga.
Lunes 16 de mayo de 2022, 4:07:52 hop.
(Imagen: Julio Solís García).



Figura 8. Eclipse total de Luna desde Málaga.
Lunes 16 de mayo de 2022, 5:06:32 hop.
(Imagen: Julio Solís García).

Cuando es la Luna la que proyecta su cono de sombra sobre la superficie de la Tierra, se produce un eclipse de Sol, que será visible en la zona que va recorriendo dicha sombra. Los eclipses solares pueden ser vistos solo desde una parte relativamente pequeña de la Tierra y duran unos pocos minutos, dándose siempre en fase de luna nueva.

Se pueden clasificar los eclipses solares en tres categorías: totales, anulares y parciales. Se estará viendo un eclipse total cuando la Luna cubra enteramente el disco del Sol; sin embargo, otra persona situada a centenares o miles de km más al norte o más al sur que la primera, verá cómo la Luna cubre solamente una parte del Sol, de manera que para ella el eclipse será parcial. Cuando la Luna no llega a cubrir enteramente al Sol, quedando la sombra (umbra) fuera del disco terrestre, el eclipse será parcial para todos los observadores.

Los eclipses anulares se producen cuando el disco lunar no llega a cubrir el disco del Sol, aunque sus centros estén bien alineados, observándose un anillo brillante rodeando el disco lunar. La causa de este fenómeno es que debido a la excentricidad de la órbita lunar (0,054 900 489) la Luna se encuentra en ese momento más lejos y por tanto su diámetro angular es menor que el del Sol; su disco se ve más pequeño y no consigue tapar completamente al astro rey (figura 9).

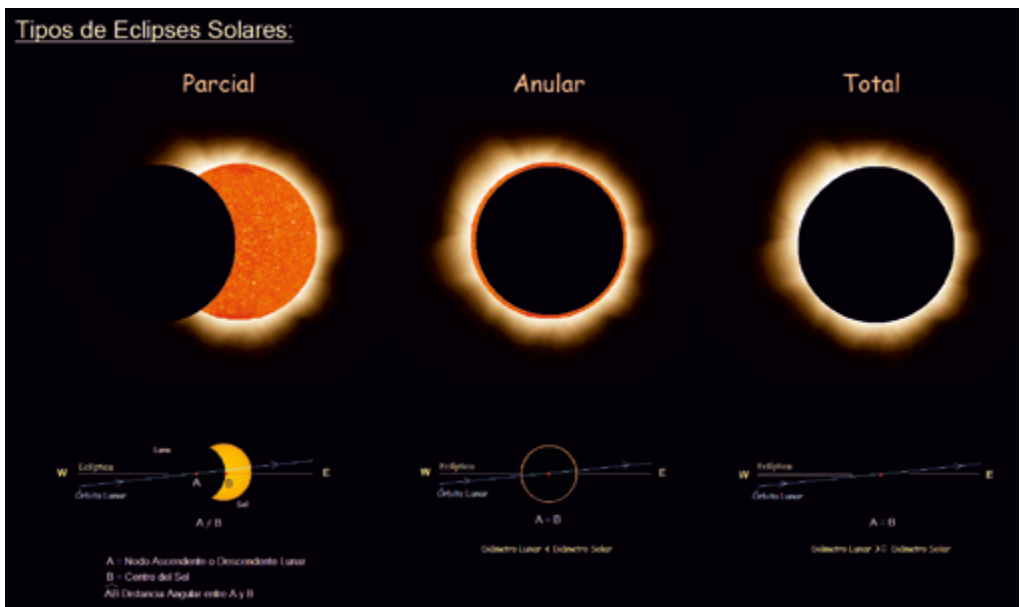


Figura 9. Tipos de eclipses solares, parcial, anular y total.
(Imagen: Fernando de Gorocica, licencia Creative Commons (Wikimedia)).

Los eclipses son relativamente frecuentes, aunque los solares son mucho más difíciles de ver, dada la estrecha franja en la que son observables y el poco tiempo que duran para una misma ubicación. En un año suelen producirse entre 4 y 7 eclipses, incluyendo los de Sol y los de Luna. Es normal que los eclipses de Sol y de Luna se sucedan media lunación después de que se produzca el primero, por lo que cada año hay al menos dos eclipses solares y dos lunares. En este siglo se producirán 223 eclipses solares (68 totales, 79 anulares y 76 parciales) y 230 eclipses lunares (85 totales, 58 parciales y 87 penumbrales).

4. LA LUNA Y LOS VUELOS ESPACIALES

«Mientras estoy aquí en Hadley, rodeado por las maravillas de lo desconocido, trato de comprender que existe una verdad fundamental en nuestra naturaleza: el hombre debe explorar, y esto es explorar en su grado más alto».

David Scott, astronauta del Apolo XV, 15 de agosto de 1971

Durante la década 1960-1970 los soviéticos optaron por proyectos robotizados, menos costosos y complejos que los tripulados, capaces de desplazarse (*rover* lunar), extraer muestras para traerlas a la Tierra y cartografiar la superficie de nuestro satélite. Para los norteamericanos, tal y como anunció John F. Kennedy en 1961, era una necesidad imperiosa lograr un hito en la carrera espacial equivalente o superior a los realizados por la URSS, como conseguir llevar un ser humano a la Luna por primera vez en la Historia, por encima del coste y de los riesgos. El programa Apolo se inició a mediados de 1960 y terminó en 1975 con el lanzamiento de la última nave Apolo para la misión 'Apolo-Soyuz', poniendo fin a la carrera espacial entre EE. UU. y la URSS, aunque el programa lunar finalizó a finales de 1972 con el Apolo 17. Posteriormente se abrió una etapa de cooperación internacional en cuanto a misiones espaciales, con aportaciones de muy diversos países y agencias espaciales.

El primer lanzamiento (no tripulado) fue el AS-201 el día 26 de febrero de 1966, al que sucedieron dos más ese mismo año, no tripulados y con éxito. En febrero de 1967 se lanzó el Apolo 1 (AS-204), primero con tripulación de tres astronautas y con un final trágico al fallecer la tripulación completa durante un incendio en tierra al no poder abrir la escotilla a tiempo. Se continuó con lanzamientos no tripulados en los siguientes meses hasta el 11 de octubre de 1968, fecha en la que se lanzó el Apolo 7 con tres tripulantes que completaron con éxito esta misión.

El Apolo 8 fue el primer vuelo tripulado hasta la Luna. Un cohete Saturno V lanzó a Frank Borman, James A. Lovell y William Anders al espacio en dirección a la Luna el día 21 de diciembre de 1968, siendo los primeros hombres en ver nuestro planeta de forma completa, la cara oculta de la Luna y la famosa imagen de la Tierra apareciendo por el horizonte lunar (figura 10), todo ello después de recorrer los 384 400 km de distancia que separan la Tierra de la Luna en tres días.



Figura 10. La Tierra tras el horizonte lunar. (Apolo 8, NASA).

Por fin, y antes de terminar la década de los 60, como pretendía Kennedy, EE. UU. consiguió llevar a tres astronautas a la superficie lunar y hacerlos regresar sanos y salvos. La misión fue un éxito, marcando un hito histórico el día 20 de julio de 1969, pasando a la historia los nombres de Neil Armstrong y Edwin Buzz Aldrin como primer y segundo hombres en pisar la Luna, al sur del mar de la Tranquilidad, mientras su compañero Michael Collins tuvo que quedarse esperándolos en órbita lunar a bordo del módulo de mando (Columbia), para regresar posteriormente los tres a la Tierra y amerizar con normalidad en el océano Pacífico el día 24 de julio de 1969.

Todos los vuelos Apolo posteriores serían tripulados y se desarrollaron con éxito, salvo el Apolo 13 que fracasó en su misión de alunizar por tercera vez, pero que resultó un grandísimo éxito al conseguir devolver a los tres astronautas (James A. Lovell, Jack Swigert y Fred Haise) vivos a la Tierra en unas condiciones muy complicadas.

El Apolo 12 despegó desde el Centro Espacial Kennedy el 14 de noviembre de 1969, y el día 19 alunizó de manera precisa en un lugar prefijado al sureste del Oceanus Procellarum, al que la Unión Astronómica Internacional tuvo que nombrar como Mare Cognitum (mar conocido) debido a la acumulación de diversos vehículos enviados a la Luna en esa misma zona (Luna 5, Ranger 7 y Surveyor 3), tanto que la tripulación del Apolo 12 pudo recuperar algunas piezas de la Surveyor 3 para su análisis en la Tierra. También recogió 34 kg de muestras lunares (12 kg más que el Apolo 11) y pudieron contemplar por primera vez un eclipse de Sol provocado por la Tierra.

La siguiente misión que logró alunizar fue la Apolo 14, después de la fallida Apolo 13. Lo hizo sin contratiempos en el lugar donde tenía previsto hacerlo la anterior, en Fra Mauro, una zona montañosa de tierras altas distinta de los mares en los que alunizaron las misiones anteriores. A partir del Apolo 15 estas misiones de la NASA aumentaron en complejidad, duración, experimentos científicos, recogidas de material, e instalación de sensores y sismógrafos, poniendo fin a la exploración lunar norteamericana con el Apolo 17, que incluyó un experimento biológico consistente en llevar una tripulación extra de ratones, cinco ejemplares de ratoncillo de bolsillo (*Perognathus longimembris*) que estuvieron sometidos a los rayos cósmicos. Cuatro de los ratoncillos volvieron a la Tierra con vida sin daños graves en los ojos o vísceras (solamente presentaron daños en el cuero cabelludo e hígado, pero sin poderse asegurar que tuvieran una relación directa con la exposición a los rayos cósmicos).

El Apolo 14 partió hacia la Luna el 31 de enero de 1971 y desarrolló dos EVA (actividades extravehiculares) importantes de más de 9 horas. El Apolo 15 se lanzó el día 26 de julio de 1971 hacia los Apeninos lunares, realizando tres EVA de más de 18 horas en total y utilizando por primera vez el LRV (Lunar Roving Vehicle), con el que hicieron casi 30 km explorando el entorno y recogiendo material.

También por primera vez pudo grabarse el despegue del módulo lunar desde la superficie lunar con una cámara instalada en el *rover*, que lógicamente se quedó aparcado en el satélite. El Apolo 16 fue lanzado desde el Centro Espacial Kennedy (Florida, EE. UU.) el día 16 de abril de 1972, realizando tareas análogas a las del Apolo 15 pero en las Montañas de Descartes y sus alrededores, y desplegando igualmente desde su módulo de mando un satélite artificial lunar (PFS-2) con el objeto de realizar experimentos científicos (partículas cargadas, campo magnético, gravedad lunar y toma de fotografías).

Por último, el Apolo 17 salió de la Tierra el día 7 de diciembre de 1972, siendo la última misión que llevaría seres humanos a la superficie lunar. El alunizaje se produjo en el valle Taurus-Littrow, batiendo todas las marcas anteriores de estancia en la Luna, de mayor tiempo en órbita lunar, de EVA más largas, de exploraciones a mayor distancia con el *rover* lunar y mayor tiempo de uso, de mayor cantidad de experimentos científicos y durante más tiempo, y de mayor recogida de material lunar.

La URSS también participó en la exploración lunar, con vehículos automáticos robotizados y unos resultados menos espectaculares que los de las misiones Apolo, pero con un interés

científico importante. Los soviéticos consiguieron enviar con éxito a la Luna tres naves dentro del proyecto Luna, el Luna 16 lanzado el día 12 de septiembre de 1970, que logró el primer alunizaje nocturno y estudió la gravedad lunar, regresando a la Tierra con más de 100 g de materiales. El 14 de febrero de 1972 partió para la Luna el vehículo Luna 20, que alunizó tres días después en Terra Apollonius a unos 120 km del lugar al que llegó el Luna 16. Tras una recogida de muestras, registro de radiación y temperatura, y toma de imágenes, retornó a la Tierra con 55 g de materiales que se compartieron con científicos de diversos países. Por último, el día 9 de agosto de 1976 despegó desde el cosmódromo de Baikonur el Luna 24, alcanzando la Luna tres días después y alunizando en el Mare Crisium. Regresó a la Tierra el día 22 de agosto con 170 g de suelo lunar, del que entregó una muestra a la NASA a finales de año. Cabe destacar también el programa soviético Lunokhod, que envió dos vehículos tipo *rover* automáticos a la superficie lunar, el primero en noviembre de 1970 y el segundo en enero de 1973. Desde su alunizaje, el Lunojod 2 fue el *rover* más pesado (836 kg) colocado en la superficie de un astro diferente de la Tierra hasta la llegada del Curiosity (900 kg) norteamericano a Marte en el año 2012, y también fue el que recorrió mayor distancia (37 km) hasta el mes de julio de 2014 en que superó esa marca el *rover* marciano Opportunity enviado por la NASA.

Ningún ser humano ha pisado de nuevo la Luna desde el año 1972, aunque está previsto que lo haga de nuevo en un megaproyecto muy ambicioso denominado Artemis (diosa y hermana gemela de Apolo en la mitología griega), que en el año 2025 enviará a la superficie lunar varios astronautas, entre los que se encontrará por primera vez en la historia una mujer y una persona de color.

Los integrantes de las futuras colonias lunares encontrarán huellas humanas que fueron esculpidas en la superficie polvorienta en los años 70 del pasado siglo, así como cámaras de vídeo, banderas, tres vehículos *rover* lunares, sondas aletargadas, herramientas para recolectar muestras del suelo, y hasta con una foto de familia; objetos y marcas que los astronautas de las misiones Apolo de la NASA dejaron atrás al volver a casa, y del resto de misiones no tripuladas que exploraron la superficie lunar y quedaron intactas a su término.

5. LA LUNA Y OTROS SATÉLITES DEL SISTEMA SOLAR

«La luna es el primer hito del camino hacia las estrellas».
Arthur C. Clarke (1917-2008)

Ninguno de los cuatro planetas interiores del Sistema Solar (Mercurio, Venus, Tierra y Marte) tiene satélites, si consideramos a la Tierra un planeta binario y si aceptamos que Fobos y Deimos son en realidad dos asteroides capturados por Marte.

Ya sabemos cómo se ve la Luna en nuestro cielo, pero en Marte sus dos lunas se verían de forma muy distinta. Fobos, que es la mayor y tiene forma de patata (27 km × 22 km × 18 km) tiene un tamaño aparente en el cielo marciano tres veces menor que nuestra Luna, apareciendo por el horizonte oeste y poniéndose por el este dos veces cada día marciano. Este fenómeno no puede seguirse desde zonas polares, dado que el satélite se mueve alrededor del ecuador marciano y es muy pequeño. Deimos es otra *patata cósmica* con unas dimensiones de 15 km × 12 km × 10 km, y desde la superficie marciana apenas se ve como una estrella brillante, más o menos como se ve Venus en nuestro cielo. Al contrario que Fobos, sale por el este y se pone por el oeste, recorriendo el cielo en casi tres días marcianos debido a que su periodo de traslación es un poco mayor que la duración del día marciano.

Una vez rebasado el cinturón de asteroides hacia el exterior, el panorama es completamente distinto: en el reino de los planetas exteriores todos tienen satélites, que suman un total de 216 entre los de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. El planeta que más satélites tiene es Júpiter con 92, seguido por Saturno con 83, Urano con 27 y Neptuno con 14. Entre ellos, los más grandes

rivalizan con varios planetas en tamaño, atmósfera, mares de agua (helados o líquidos bajo la superficie), actividad sísmica y vulcanológica, etc.

La Luna (3475 km Ø) es la quinta mayor luna en el Sistema Solar después de Ganímedes (5262 km Ø), Titán (5150 km Ø), Calisto (4821 km Ø) e Ío (3643 km Ø), siendo Ganímedes y Titán mayores que el planeta Mercurio (4879,4 km Ø) que supera a Calisto por muy poco.

El mayor satélite del Sistema Solar es Ganímedes, el tercer satélite en orden de distancia a Júpiter, descubierto por Galileo Galilei en el año 1610. Es mayor que el planeta Mercurio y algo menor que Marte (6792,4 km Ø), no tiene atmósfera apreciable y su temperatura superficial se acerca a los -200 °C. Presenta cráteres y cordilleras de cierto parecido a la Luna aunque de material completamente distinto (silicatos y agua helada), y se cree que puede tener bajo la corteza grandes cantidades de agua líquida.

Titán es el segundo gran satélite del Sistema Solar en cuanto a tamaño, es el mayor de Saturno y el único que tiene una atmósfera densa, incluso más densa que la terrestre (1600 hPa en superficie). El 14 de enero de 2005 la sonda Huygens logró posarse en la superficie de este gran satélite, tras separarse de la nave Cassini, ofreciendo imágenes y datos de la superficie y de la atmósfera que han permitido conocer mucho mejor las características globales de este apasionante y helado mundo.

La atmósfera de Titán está compuesta por nitrógeno (94 %) y otros compuestos (5 %), mayormente hidrocarburos como el metano, y en menor medida etano, acetileno, metilacetileno, diacetileno, cianoacetileno, propano, CO₂, CO, cianógeno, cianuro de hidrógeno, helio y compuestos químicos complejos, resultado de la fuerte actividad fotoquímica en la atmósfera superior. Particularmente interesante resulta la presencia de cianuro de hidrógeno, nitrilo precursor de las purinas, constituyentes de los ácidos nucleicos presentes en las células vivas.

Titán es el único lugar del Sistema Solar, junto con la Tierra, donde se producen precipitaciones que dan lugar a ríos y lagos, aunque aquí los fenómenos meteorológicos no tienen su base en el agua, sino en el metano líquido, que es el componente principal de las nubes tormentosas de gran desarrollo vertical (hasta 35 km) que descargan importantes cantidades de precipitación. También existen nubes tipo cirros en la estratosfera de Titán, a una altitud de entre 50 y 100 km, compuestas por cristales de hidrocarburos. La temperatura ambiente media es de -180 °C, y existen vapores brumosos próximos a ríos y lagos, o tras las lluvias; la superficie anaranjada y fría es arcillosa y blanda, con rocas dispersas y bloques de hielo, en la que puede haber actividad volcánica con erupciones de agua mezclada con amoníaco. Se han detectado vientos dominantes del oeste, que en superficie tienen velocidades de entre 50 y 100 km/h, llegando hasta 200 km/h en zonas altas de la atmósfera. Entre esa niebla anaranjada y espesa en la alta atmósfera, y la lejanía al Sol, la luminosidad en un día cualquiera en Titán puede asemejarse a la crepuscular terrestre.

La baja densidad media (< 2 g cm⁻³) hace pensar que está compuesto por una mezcla de hielo y roca, con un manto arcilloso y posiblemente con un océano de agua con amoníaco disuelto y diversos hidrocarburos, a una profundidad de unos 100 km. Tiene una rotación capturada (síncrona) con un periodo de 15,945 421 días.

Calisto es el tercer satélite más grande, otro satélite galileano de Júpiter (junto con Ío, Europa y Ganímedes) que se caracteriza por presentar muchísimos cráteres de impacto. No tiene actividad geológica ni calor interno generado por fuerzas de marea, como en el caso de Ío y en menor medida en Europa y Ganímedes. Se registran temperaturas superficiales de entre -190 °C y -120 °C según sea zona iluminada u oscura, polar o ecuatorial, y tiene una atmósfera extremadamente fina de dióxido de carbono y oxígeno molecular. Se estima que debe tener también unas cantidades muy importantes de agua en el subsuelo.

El último de los satélites mayores que la Luna es Ío, el más cercano a Júpiter y otro de los cuatro galileanos que acompañan al planeta gigante (figura 11); está sometido a unas fuerzas de marea tan intensas que le convierten en el astro del Sistema Solar con mayor actividad volcánica

y sísmica, con cientos de volcanes activos a causa del intenso calor interno. En su superficie, donde no quedan rastros de cráteres de impacto, debido sobre todo a las continuas erupciones volcánicas que dan lugar a numerosos lagos de azufre y a ríos de compuestos de azufre y silicatos, la temperatura superficial media es baja, del orden de $-145\text{ }^{\circ}\text{C}$, aunque los materiales expulsados de los volcanes alcanzan temperaturas de más de $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$. En Ío no se han detectado cantidades apreciables de agua, y el dióxido de azufre proveniente de las erupciones volcánicas es el componente principal de su tenue atmósfera.



Figura 11. Tamaño comparado de los planetas interiores del Sistema Solar y los mayores satélites.

Europa está detrás de la Luna en cuanto a tamaño, pero merece la pena mencionarla, dado que es posiblemente uno de los cuerpos del Sistema Solar con mayor cantidad de agua líquida en el subsuelo y posibilidades de sostener algún tipo de vida. Europa posee vestigios de oxígeno gaseoso en su superficie, resultado de la descomposición del vapor de agua por la radiación solar, que continuamente se va perdiendo debido a la escasa fuerza gravitatoria, y se va reponiendo a expensas de la sublimación del hielo superficial. Esta luna tiene una superficie muy lisa, con un océano de agua de más de 100 km de profundidad que la rodea completamente, y que en la superficie se manifiesta como una gran costra de hielo de unos 20 km de espesor, que presenta grandes fracturas debidas a las tensiones gravitatorias con Júpiter; las fuerzas de marea generan el calor interno suficiente como para dar lugar al vasto océano de agua líquida bajo dicha cubierta de hielo. La temperatura en superficie oscila entre los $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la zona soleada y por debajo de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ en los polos y zonas no expuestas al sol.

6. LA LUNA Y LA HUMANIDAD

«En el majestuoso conjunto de la creación, nada hay que me conmueva tan hondamente, que acaricie mi espíritu y dé vuelo a mi fantasía como la luz apacible y desmayada de la luna».
Gustavo Adolfo Bécquer (1836-1870)

Mucho antes de la aparición de la humanidad ya estaba la Luna iluminando nuestros cielos. Es el astro que más fácilmente se puede identificar en la bóveda celeste, y como se ha visto, gira alrededor de la Tierra en un plano muy próximo a la eclíptica, razón por la cual todos los planetas, la Luna y el Sol parecen recorrer el cielo por el mismo «camino».

Hace decenas de miles de años, cuando el ser humano vivía en las cavernas y se dedicaba a cazar, la Luna formaba parte del paisaje, pero no de una forma decorativa o como un adorno celeste, sino como elemento interviniente que afectaba a todos los seres vivos. El ser humano se percató rápidamente de los regulares ciclos lunares y estableció primitivos calendarios muy útiles para regular su actividad rutinaria, su orientación y los momentos más adecuados para determinadas actividades, sobre todo cuando se hizo sedentario, ganadero y agricultor. Para las actividades agrícolas se necesitaba imperiosamente conocer los momentos más adecuados para la siembra y la cosecha a lo largo del año. La Luna supuso un elemento fundamental para la determinación de un patrón de tiempo que señalara el inicio y el fin de las estaciones, y la duración de los meses y los años.

Las primeras civilizaciones humanas supieron reconocer que el Sol, la Luna y los cinco planetas visibles a simple vista, se movían por el cielo en una estrecha franja dividida en 12 constelaciones, a la que posteriormente se denominó zodiaco. La consideración de dioses que se les atribuyó a los astros que por ella se movían, en contraste con la aparente quietud del fondo de estrellas fijas, daría lugar posteriormente a la Astrología.

Los eclipses también tenían lugar, lógicamente, en alguna de las constelaciones del zodiaco, y suponían una alteración tan grande de la armonía celestial (la Luna se volvía oscura y rojiza, y el Sol desaparecía del cielo por unos instantes aterradores), que para la mayoría eran presagio de catástrofes, guerras o desgracias, o sencillamente expresiones divinas de mensajes a la humanidad que naturalmente había que interpretar. El cielo nocturno pasó de ser un mero regulador de las actividades humanas a ser, además, la morada de los dioses (figura 12).



Figura 12. Dibujo de la Tierra y la Luna. Autor: Julio Solís García.

A la Luna le bastaron tres de sus numerosas características especiales para influir de manera determinante en la vida del ser humano. La primera es su masa, solamente 81,26 veces menor que la de la Tierra y que en este baile celestial del planeta doble Tierra-Luna, la influencia gravitacional de la una sobre la otra genera unas fuerzas de marea notables, por un lado la Tierra tira tanto de la Luna que desplaza su manto hacia el exterior, haciendo menos profunda la corteza de la cara visible, y por otro la Luna, que junto con el Sol crea unas mareas muy notables en los océanos y mares terrestres, que se van sucediendo al ritmo de las fases lunares; el agua siente la atracción gravitatoria lunar acercándose unos metros hacia nuestro satélite y subiendo de nivel, generando una protuberancia que sigue a la Luna mientras se desplaza. La segunda es su gran luminosidad cuando está entre las fases creciente y menguante, en especial durante la luna llena. Ese gran brillo nocturno afecta de manera muy importante a la fauna terrestre incluido el Hombre, y en general a casi todos los seres vivos. Por ejemplo, se le atribuye a la Luna una relación directa con las bestias antropomorfas, como los licántropos y otros seres míticos, y por supuesto a los lobos y otros animales del bosque, otorgándosele también un carácter esotérico en aquelarres y otros ceremoniales sagrados, o ritos mágicos, en las noches de luna llena. La tercera es su periodo de rotación sincrónica de 28 días que hace que solamente se vea un mismo hemisferio y que coincida con el periodo menstrual femenino, hecho que en casi todas las culturas ha vinculado nuestro satélite con divinidades de carácter femenino y con todo lo relacionado con el mismo, como la fertilidad, la maternidad, el embarazo, la procreación y el amor...

Todas las civilizaciones humanas, en todo tiempo y lugar, han considerado a la Luna como una divinidad relacionada con el tiempo, el devenir y el destino. La Luna mientras crecía y decrecía, desaparecía y reaparecía, simbolizaba el nacimiento y la muerte, incluso la resurrección y la idea adoptada por muchas religiones de que con la muerte no se acaba todo. También se ha considerado a la Luna dominadora de las aguas y señora de la vegetación, al observar el sube y baja de los mares y relacionarlo con el ritmo lunar (antes de conocer el fenómeno de las mareas y su origen).

Existen algunos grupos humanos, como por ejemplo los pigmeos centroafricanos, en los que a la Luna se la considera la madre de la vegetación y de las cosas vivas. Las mujeres de esta tribu, en un ceremonial que tiene lugar antes de la época de lluvias, se untan con jugos vegetales y arcilla creando una especie de mascarilla blanca como la luz lunar, para después ingerir una bebida alcohólica a base de plátanos fermentados y entrar en una especie de trance, danzando y bailando hasta el límite de sus fuerzas, suplicando e invocando a la Luna que aleje a los malos espíritus y que proporcione a la comunidad niños y alimentos en abundancia.

En ausencia de la Luna, el día terrestre duraría mucho menos de 24 horas, y posiblemente no existirían las cuatro estaciones, primavera, verano, otoño e invierno. El eje de rotación de la Tierra sufre un bamboleo como si fuera una peonza, la presencia de la Luna y del Sol contribuyen a ese movimiento retrógrado (en el sentido de las agujas del reloj visto desde el polo norte) denominado *precesión*. Superponiéndose a este movimiento que tiene un periodo de unos 25 767 años existe otro denominado *nutación*, causado sobre todo por la acción gravitatoria de la Luna y que tiene un periodo de unos 18,6 años. Estos dos movimientos combinados hacen que el polo norte celeste describa una línea sinusoidal que en el momento presente apunta a las cercanías de la estrella Polaris, nuestra estrella polar actual, que dejará de serlo poco a poco según pasen los años. Igualmente, el movimiento de precesión provoca que los equinoccios, que son los puntos de corte entre la eclíptica y el ecuador celeste, recorran el cielo en esos 25 767 años mencionados (fenómeno denominado *precesión de los equinoccios*), pasando de una constelación del zodíaco a otra cada 2150 años aproximadamente ($2150 \times 12 = 25\ 800$ años), dando lugar a lo que en algunos ámbitos relacionados con la Astrología se denominan *eras*, en cuyo contexto se dice que a mediados del siglo XX dio comienzo la Era de Acuario.

7. CONCLUSIONES

«La luna asombra mi vida como si fuera una ilusión».
Juan Ramón Jiménez (1881-1958)

Después de 4000 millones de años la Luna nos mira impasible, testigo mudo de la aparición de la vida en la Tierra, de su desarrollo, de sus vertiginosos momentos de explosión de vida y de sus extinciones, de las glaciaciones, de los periodos cálidos, del nacimiento y desaparición de los dinosaurios y de la irrupción del ser humano que se ha ido extendiendo por el planeta, arrasando por donde pasa y contaminando la atmósfera y los océanos.

Ahora la Luna muestra dos aspectos completamente distintos, de manera análoga a sus dos caras. Uno sigue perteneciendo al reino de la magia y la superstición, como en nuestros orígenes, rodeado de misterio y donde muchas personas quieren encontrar respuestas a sus preguntas más profundas, e incluso más mundanas... trabajo, dinero, amistades o amor, que la astrología pretende ofrecer en las páginas de periódicos y revistas, o en gabinetes de astrólogos de todo tipo y en todos los medios de comunicación, dando apariencia de profesionalidad.

Por otro lado, la Luna ya tiene asignado un papel en el desarrollo científico-tecnológico del ser humano. Con la puesta en marcha del proyecto espacial internacional Artemis, la Luna se convertirá en una fuente de recursos minerales, en un objetivo comercial y también turístico al más alto nivel, donde las mayores fortunas podrán permitirse viajes a nuestro satélite como el que visita otros lugares de la Tierra, con el mero propósito de contemplar nuestro planeta desde el espacio, o experimentar lo que significa caminar por la Luna y disfrutar de su inhóspita belleza, y por último en una plataforma intermedia para la exploración del resto del Sistema Solar con bases permanentes que faciliten las expediciones a Marte y a otros lugares aún más lejanos.

La Luna, nuestra fiel compañera, ha impulsado avances tecnológicos y científicos, y ahora será el laboratorio perfecto para ayudar a los seres humanos a practicar cómo viajar, vivir y trabajar en el espacio profundo. Al mismo tiempo, los científicos continúan desvelando los misterios que guarda la Luna mientras alumbra la próxima era de la exploración espacial.

REFERENCIAS Y CONSULTAS

- FABER KAISER, A., 1973. COSMOS (Cronología general de la Astronáutica). Asesoría Técnica de Ediciones.
- LLAUGÉ, F., 1972. Astronáutica Soviética. Ediciones Picazo.
- McNAB, D. y YOUNGER, J., 1999. Los Planetas. Gedisa Editorial.
- REAL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO, 2023. Anuario 2023. Instituto Geográfico Nacional.
- WILSON, D., 1978. La Luna, una misteriosa nave espacial. Editorial Pomaire.

Sitios web

- <https://astronomia.ign.es/eclipses-de-sol-y-luna>.
- <https://www.geoenciclopedia.com/luna/>.
- <https://www.sea-astronomia.es/glosario/luna>.
- <https://ciencia.nasa.gov/la-luna-un-faro-para-la-exploracion-espacial>.
- <https://solarsystem.nasa.gov/moons/mars-moons/in-depth/>.
- <https://www.astrobotacora.com/la-tierra-pudo-ser-una-sinestia/>.
- <https://www.qtorb.com/2022/01/la-luna-y-su-valor-estrategico-para-la-humanidad.html>.
- <https://www.nationalgeographic.es/espacio/2019/07/por-que-tenemos-la-luna-y-como-afecta-nuestro-planeta>.
- <https://www.infobae.com/america/ciencia-america/2022/10/26/como-se-formo-la-luna-las-cinco-teorias-mas-firmes-sobre-su-origen/>.

https://es.wikipedia.org/wiki/Origen_de_la_Luna.

<https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/apolo-11-770/el-origen-de-la-luna-17627>.

<https://www.ngenespanol.com/el-espacio/cual-es-el-origen-de-la-luna-resumen/>.

<http://www.geodiversidad.es/sistema-solar/la-luna-origen-evolucion-y-geodiversidad>.

<https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/sinestia-un-nuevo-tipo-de-planeta-601495626231>.

<https://solarsystem.nasa.gov/moons/mars-moons/in-depth/>.

https://www.wikiwand.com/es/Estructura_interna_de_la_Luna.

http://enciclopedia.us.es/index.php/Geolog%C3%ADa_de_la_Luna.

<https://notibomba.com/la-luna-una-nave-espacial-cientificos-rusos-no-descartan-esta-teoria/>.

Los cielos de los planetas y satélites del Sistema Solar. *Revista Digital ACTA*, núm. 32. https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/032001.pdf.

Climatología del inframundo. *Revista Digital ACTA*, núm. 42. https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/042001.pdf.