

Actividad en la superficie lunar: fenómenos lunares transitorios

Activity in the lunar surface: transient lunar phenomena

Cruz R., A. F.¹

Resumen. Los fenómenos lunares transitorios que se presentan en la superficie de la Luna son raros, poco frecuentes y de corta duración, lo que origina que exista poca información al respecto. Esto hace evidente la importancia de estudiarlos con detalle. Han sido registrados como nubes muy brillantes a base de gases residuales de la pasada actividad geológica lunar, de diferentes colores (amarillas, anaranjadas, rojas), de acuerdo con el tiempo de duración cambian su color, con tamaños de pocos kilómetros hasta de centenares de kilómetros. Por lo general, se presentan en ciertos lugares, como cráteres (Aristarco, Plato, Kepler, etc.), y en los bordes de los mares lunares (mar de la Fecundidad, zona de los montes Alpes, etc.). Variando su tiempo de exposición puede ser de unos pocos segundos hasta un poco más de una hora.

En este artículo, se hace una revisión bibliográfica de los fenómenos lunares transitorios y se construye una teoría a partir de sus reportes e hipótesis científicas tratando de unificar y sintetizar los datos y conceptos, ya que estos están esparcidos por diferentes líneas de investigación lunar. Necesitan ser explicados desde la mecánica celeste y la astrofísica planetaria para compararlos con los fenómenos lunares transitorios, tales como la desgasificación lunar, los lunamotos y jalones gravitacionales. Extrapolando estos conocimientos físicos e hipotéticos de los astros, se defiende la teoría más coherente (desgasificación lunar), pero se construye la teoría de cómo observar, describir, explicar y predecir los fenómenos lunares transitorios.

Palabras clave: fenómenos lunares transitorios, actividad geológica lunar, desgasificación lunar, lunamotos, jalones gravitacionales.

Abstract. Transient Lunar phenomena (TLP) that occur on the surface of the moon

¹ Universidad del Tolima. Grupo de Astronomía Urania Scorpius. Correo electrónico: afcruz@ut.edu.co.

with a high rarity, low frequency of repetition and very short observation times resulting in that there is little information in this regard. This makes clear the importance of studying them in detail. They have been registered as very bright clouds from waste gases of the last lunar geologic activity of different colors (yellow, Orange, red), according to the time duration changes its color, with sizes of a few kilometers from hundreds of miles. They usually occur in certain places like the craters (Aristarchus, Plato, Kepler, etc.) and at the edges (Lunar seas, sea of fertility, area of the Alps mountains, etc.). Varying the exposure time may be from a few seconds up to a little more than one hour.

This article becomes a bibliographical review of the TLP and builds a theory from their reports and scientific hypotheses trying to unify and synthesize data and concepts that they are scattered by different lunar research lines. They need to be explained from celestial mechanics and Astrophysics planetary to compare with the TLP, such as the lunar outgassing, moonquakes and gravitational pulls. Extrapolating these physical and hypothetical knowledge of the stars defends more coherent theory (lunar outgassing), but is constructed the theory of how to observe, describe, explain and predict the TLP.

Keywords: transient lunar phenomena, lunar geologic activity, lunar outgassing, moonquakes, gravitational pulls.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ¿Qué es un fenómeno lunar transitorio?

Un fenómeno lunar transitorio es una emanación explosiva al exterior de gases residuales depositados bajo el suelo lunar por la actividad geológica lunar posiblemente al originarse un lunamoto por causa de la atracción gravitacional del sistema Tierra-Luna. Estos gases, además, se ven influidos por el brillo solar incidente que hace que estos irradien y sean visibles.

Después de la formación de la Luna, el material parental volcánico se enfrió formando los mares lunares y depósitos de gases. Hace unos 3000 millones de años la luna detuvo su actividad geológica (Stevenson, 1987), pero actualmente investigadores de la National Aeronautics and Space Administration (NASA 'Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio') han descubierto nuevos rastros que indican que se han producido fallas geológicas muy recientes (JPL, 2012). Luego, con el fuerte bombardeo de asteroides y cometas, le quitaron estabilidad al suelo lunar (Sigismondi, 2000), dejando un escenario frágil para la ocurrencia de los fenómenos lunares transitorios.

1.2 ¿Qué otros ejemplos hay en el sistema solar similares a los fenómenos lunares transitorios?

El mismo fenómeno se presenta en Europa: uno de los satélites de Júpiter que es causado por deformación en la corteza de este satélite, tal y como ha sido observado por la sonda espacial Cassini (Hedman, 2009). La atracción gravitacional de Júpiter y otras lunas galileanas inducen a un fenómeno de fricción de marea cuyas manifestación es, entre otras, la formación de pequeños flujos de agua en la superficie (Müller, 2007). Otro ejemplo es el satélite Tritón, del planeta Neptuno, que libera géiseres de nitrógeno líquido que lo convierte en uno de los satélites que posee actividad geológica activa. Otro caso es el de Encelado, satélite del planeta Saturno, cuyos géiseres liberan partículas del Polo Sur observadas como ralladuras denominadas *tiger stripes*. Estas partículas alimentan el anillo E del planeta (Matthew, 2010). Investigadores de la NASA determinaron que “las tormentas que ocurren en los polos de Saturno son a causa de este fenómeno que ocurre en Encelado” (Observatory Space Herschel [OSH], 2011). Sería el único satélite natural de nuestro sistema solar que influye en la composición química de su planeta.

1.3 Observadores antiguos y de hoy en día

Algunos de los fenómenos lunares transitorios son especialmente brillantes, ya que existen reportes desde la Edad Media, época en la que solamente podían ser vistos a simple vista. William Herschel (astrónomo alemán descubridor del planeta Urano de cientos de cuerpos y observador de muchos fenómenos celestes), avistó estos fenómenos y los logró documentar y publicar en sus *Catálogos de estrellas dobles y nebulosas* (Nasim, 2011), pero para él fueron inexplicables.

Mucho más adelante en la historia humana, la misión espacial Prospector de la NASA, lanzada el 7 de enero de 1998 (Cosmopedia, 2008), realizó un mapeo en búsqueda de evidencias de hielo y reconocimiento de las características superficiales del satélite natural (Lunar Prospector Mission [LPI], 2004). Entre sus instrumentos contaba con un espectroscopio que detectó, en los cráteres Aristarco y Kepler, la emanación de gas radón desde la superficie lunar (Taylor, 2003). Fue la primera vez que se planteó la teoría de la desgasificación lunar (Crotts, 2007) y no descartaba la posibilidad de que aún la Luna presentara una reducida actividad geológica (Wilhelms, 1987).

Crotts y Hummels, del Departamento de Astronomía de la Universidad de Columbia (Columbia Astrophysics Laboratory [CAL], 2011), ejecutaron el proyecto de

monitoreo robótico de imágenes lunares (ver figura 1). Para este estudio, los observatorios se ubicaron en el campus de la Universidad de Columbia y otro en el observatorio interamericano del cerro Tololo en Chile. A su vez, han observado y efectuado grandes proyectos, como el estudio de los fenómenos lunares transitorios, la posible presencia de agua en diferentes estados de la materia y corroborar con datos científicos que la Luna geologicamente está activa, estableciendo estadísticas y la recopilación de información sobre estos eventos en la superficie lunar.

1.4 Teorías de los fenómenos lunares transitorios

Inicialmente, se pensaba que los fenómenos lunares transitorios eran de origen de la dinámica activa de la atmósfera que reflejaba distorsiones en la Luna y regiones luminosas. Esto es coherente con algunos reportes, pero fue puesto en duda por la misión de Apolo XI, ya que se les pidió a los tripulantes si podían confirmar un fenómeno lunar transitorio reportado por el observatorio alemán de Bochum. Neil Armstrong (astronauta estadounidense de la NASA, fue el primer hombre en caminar en la Luna, y observador de un fenómeno lunar transitorio), describió el fenómeno cerca al cráter Aristarco como “un área considerablemente más iluminada que el área circundante” (Apollo XI, 2010) con una especie de “fluorescencia” (propiedad de las sustancias y materiales de absorber y emitir energía en forma de luz). Este es el reporte más completo e importante en cuanto a la descripción para el estudio de los fenómenos lunares transitorios.

Una segunda teoría propone que son a causa de los impactos de los meteoritos, ya que la Luna no posee una atmósfera que la proteja de ellos; sin embargo, nunca se ha podido comprobar que un fenómeno lunar transitorio produzca un cráter. La tercera teoría propone que la causa son derrames de material volcánico proveniente de la actividad geológica lunar influenciados por la luz solar que hace que brillen. Pero esta teoría no está respaldada por las observaciones y no hay información que justifique su papel en la creación de fenómenos lunares transitorios (Anunziato, 2010).

La última teoría propone que los fenómenos lunares transitorios son originados por la desgasificación lunar de los depósitos que quedaron en la pasada actividad geológica que salen al exterior y brillan (Crotts, 2008). Esta es la teoría con más favorabilidad, puesto que la misión Lunar Prospector de la NASA detectó gases que salían cerca de los cráteres Aristarco y Kepler, lo cual sirvió como evidencia científica para los escépticos y realmente ser estudiados más afondo como un fenómeno natural que ocurre en la Luna (Anunziato, 2010).

1.5 Enfoque del autor

La importancia de esta investigación radica en consolidar una teoría para el estudio de los fenómenos lunares transitorios que a su vez contribuya a reforzar la teoría de la desgasificación (Crotts, 2007) y, teniendo una mejor estructura teórica, los fenómenos lunares transitorios puedan ser estudiados con detalle. Dentro de la investigación de estos se realiza el ejercicio de intentar avistar uno de estos raros fenómenos (no hay registro del autor) y analizar otras imágenes que han logrado capturar científicos por medio de la observación, demostrando así el modo práctico de investigar estos fenómenos.

2. MUESTRA DE TRABAJO

En el desarrollo de este artículo se establece una teoría que concreta e incluye todos estos datos para establecer la observación, descripción, explicación y predicción de los fenómenos lunares transitorios basándose en la teorías y observaciones de diferentes autores, por medio de los registros de antaño y actuales acerca de ellos (Bartneck, 2007).

2.1 Teórico

2.1.1 *Observación y descripción de los fenómenos lunares transitorios*

Este fenómeno lunar se observa como en forma de nube muy resaltada por sus colores cambiantes en el tiempo de visibilidad, ya que los gases interactúan con la luz solar incidente, lo que hace que se tornen de color rojo, amarillo, naranja, etc. Tanto su forma y dinámica son irregulares e imprecisas: se desvanecen en pocos segundos y de forma repentina (Holmstrom, 2011). Crotts y Hummels (2010) han monitoreado robóticamente la Luna por medio de imágenes. Un ejemplo de cómo se observa un fenómeno lunar transitorio por medio de la astrofotografía está en la figura 1.

2.1.2 *Explicación de los fenómenos lunares transitorios a partir de la teoría planteada*

La explicación de los fenómenos lunares transitorios no está completamente elaborada. Como ya se dijo, una de la más respaldada es la de la desgasificación lunar (Crotts, 2009), ya que las misiones Apolo revelaron la posibilidad de que la Luna tuviese una actividad geológica hasta hace un millón de años atrás, puesto que existen evidencias como la estructura INA de zona de cráteres y montañas que se constituyen en la última evidencia de actividad orogénica de este satélite (ver figura 2). Estos

gases quedaron almacenados en depósitos debido a que la Luna presenta una corteza estructuralmente homogénea (Phillips, 2006).

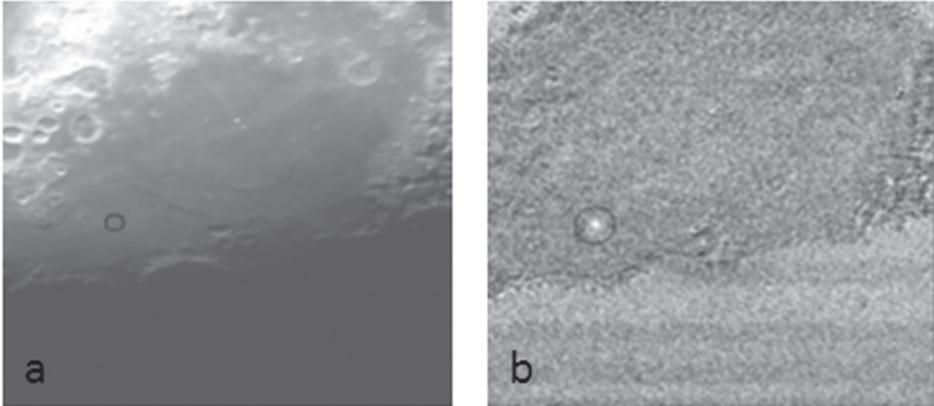


Figura 1. Fenómeno lunar transitorio dentro del círculo: a) imagen sin procesar y b) imagen procesada. (Crotts y Hummels, 2010).

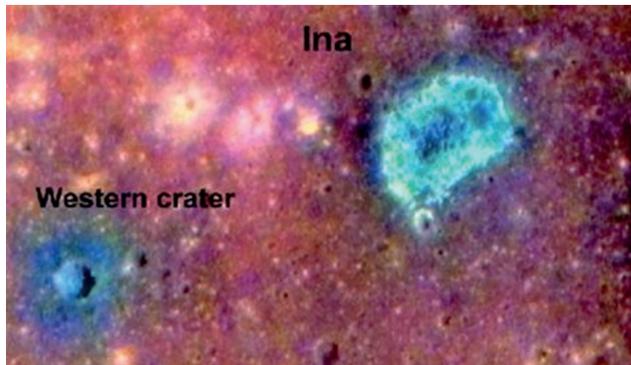


Figura 2. Estructura INA, evidencias de actividad geológica reciente (un millón de años). (Phillips, 2006).

2.1.2.1. Ilustración

Teóricamente, la Luna se formó a causa de un impacto entre nuestro planeta primitivo y un cuerpo aproximadamente un séptimo del tamaño de la Tierra (Ziethe, 2008), conocido también como Theia (la diosa de la Luna en la mitología griega), desintegrándose y formando un nuevo satélite natural. Como resultado de la colisión, se alcanzaron temperaturas de hasta 10.000 °C derritiendo y evaporando materiales presentes en los cuerpos, lo cual produjo que grandes fragmentos de la corteza pri-

mitiva fueran expulsados hacia el espacio cercano a la Tierra y, por el proceso natural de acreción (la incorporación de material a un cuerpo en tiempo astronómico forma un cuerpo celeste de mayor tamaño), se generó naturalmente nuestro satélite (Montgomery, 2009).

Luego, este sistema de órbitas se pudo estabilizar, lo que a su vez determinó la rotación de la Tierra, ya que inicialmente esta tenía una rotación de 6 horas (Fahrenheit, 2011), pero con la influencia de la luna se pudo disminuir la velocidad de rotación hasta llegar a ser aproximadamente de 24 horas (Iorio, 2011), en cierta medida gracias a que la Tierra tiene un satélite natural de gran diámetro (3473 km), masa ($7,35 \times 10^{22}$ kg) y densidad ($3,34 \text{ g/cm}^3$) (Hack, 2011); estos se equilibraron mutuamente y es así como podemos verlos en la actualidad.

Durante la actividad geológica lunar en este lapso de tiempo, los fenómenos lunares transitorios se efectuaban repentinamente y en gran cantidad (Crotts, 2009). Los flujos internos y externos de magma se eyectaban y cíclicamente se repetía este proceso, que en el trascurso de su solidificación fueron dejando cavidades llenas de gases y vapor de agua (Bratkov, 2006). Superficialmente, se definió temporalmente su relieve (Gaddis, 2002). Estas manchas llamaron la atención a uno de los astrónomos más importantes y brillantes de la historia, Galileo Galilei, que las llamó “mares lunares”, basado en la forma como se verían los mares de la Tierra desde el espacio. Desde ahí en adelante, se han estudiado las manchas oscuras presentes en la superficie lunar, lo que se conoce como selenografía, que es el estudio de las características superficiales y físicas de la Luna (Russell, 2011).

Estos lugares en la luna permanecieron por muchos años en estabilidad geológica y topográfica, pero eventos naturales como la lluvia de bólidos, meteoritos, cometas y asteroides provenientes del cinturón de asteroides e incluido el cinturón de Kuiper y en la nube de Oort (región del espacio ocupada por rocas y fragmentos de material congelado que presenta un medio de polvo y gas ubicado en los límites externos del nuestro sistema solar) (Pieters, 2008) impactaron la superficie sin control, ya que la atmósfera lunar presenta un bajo coeficiente de fricción que no alcanza a desintegrar los veloces cuerpos (ver figura 3). Estos formaron los cráteres que podemos detallar en la Luna (Sigismondi, 2001).



Figura 3. Visualización del preescenario para la formación de un fenómeno lunar transitorio. Se representa la superficie lunar en compañía de las interacción con la Tierra. El círculo rojo señala las cavidades almacenadoras de gases residuales de la pasada actividad geológica. (Modificada de <http://www.bitacoradegalileo.com/>, 2011).

La Luna se encuentra bajo la influencia de los cuerpos celestes como la Tierra, el Sol, planetas y otros. Como primera medida, la Luna está sometida a la acción gravitacional de la Tierra, esto, junto con la excentricidad de la órbita, ocasiona que dicha interacción sea variable, y que su intensidad sea extrema tanto en el apogeo (punto más lejano entre la Tierra y la Luna, 406.740 km) como en el perigeo (punto más cercano entre la Tierra y la Luna, 356.410 km)(Portilla, 2011), lo que puede ocasionar lunamotos que causan una leve deformación superficial y este movimiento telúrico lunar perturba los materiales, depósitos de gases y el vapor de agua eyectándolos de lo profundo del suelo lunar al exterior (Nayakshin, 2008). Este fenómeno lunar ocurre en gran cantidad en ciertos cráteres debido a la naturaleza de su formación, ya que son más inestables y erosionados que los mares lunares, más duros y solidificados; por estas interacciones se crean fracturas o pequeñas explosiones que a su vez sirven como canales tubulares que canalizan los gases y, esporádicamente, son liberados de lo profundo de la corteza de los cráteres o directamente de los mares lunares (ver figura 4) (Crotts, 2010).

Estos gases se ven afectados por el brillo solar que, en algunas ocasiones, en la superficie de la Luna, puede ser mayor de 200 °C en alta actividad solar (Holmstrom,

2010); esto hace que los gases se vuelvan fluorescentes, ya que se encuentran a una temperatura por debajo de 0 °C, de manera que, al salir de estos depósitos y recibir el bombardeo del brillo solar incidente, se calientan y cambia su color e interactúan con los demás gases formando una especie de nube de diferentes gases que lo componen (Crotts, 2008). Por otro lado, para que en los mares lunares puedan producir un fenómeno lunar transitorio se requiere un lunamoto de mayor proporción que pueda causar fracturas por las cuales escapan los gases residuales de la actividad geológica lunar (Berezhnoi, 2000).



Figura 4. Visualización de un fenómeno lunar transitorio. El círculo rojo señala un depósito de gases residuales, perturbados por lunamotos que emanan e interactúan con el brillo solar incidente. (Modificada <http://www.bitacoradegalileo.com/>, 2011).

2.1.2.2. Cráteres activos en los fenómenos lunares transitorios

Los cráteres que más han presentado reportes de fenómenos lunares transitorios son los cráteres Aristarco, que presenta unos 42 reportes contundentes, Plato con 13 registros y Kepler con 3 registros. Son los cráteres más activos y mejor reportados por los observadores (Crotts, 2008). Algunos resultados establecieron que “alrededor del 50% de los reportes ocurrieron originalmente en el cráter Aristarco, el 16% en el cráter Plato, el 6% en los cráteres recientes (Copérnico, Kepler y Tycho)” (Crotts, 2007). En la tabla 1 se exponen los reportes contundentes analizados en diferentes

intervalos de tiempo, donde se incluyen otros cráteres que presentan al menos un reporte contundente.

Tabla 1. Número de reportes de fenómenos lunares transitorios durante tres periodos de tiempo históricos

Reportes robustos y contundentes	Lugar característico (cráter, valle, zona de montes)
46	Aristarco, valle de Schroter
13	Plato
3	Kepler
2	Alfonso, Eudoxo, Grimaldi, Mar de Crisium, Poseidón
Al menos 1	Alpetragius, zona de los montes Alpes, Bessel, Calippus, Cassini, Carlini, Copérnico, Daniel, Gasendi, Godin, Hércules, Kant, La Hire, Littrow, Manilius, mar de Humorum, mar de Nibium, Messier, E. de Picard, pico de SW, Proclus, Promotorium Heraclides, Ptolemaus, Riccioli, Polo Sur, Tycho

Fuente: Crotts (2009)

2.1.3 Predicción de los fenómenos lunares transitorios

Los fenómenos lunares transitorios se pueden predecir, en principio, conociendo cuándo ocurre la mayor cercanía entre la Tierra y la Luna donde la atracción gravitacional entre ellos está en mayor proporción y, por tal motivo, se pueden causar múltiples lunamotos en los meses de enero, febrero, agosto y septiembre como se muestra en la figura 5, según datos científicos de 2012, ya que la Luna se encuentra bajo influencia constante del Sol y hace que tenga una órbita perturbada y las distancias (perigeo y apogeo) varían con respecto a los años de la Tierra.

Además, el efecto es más ecentuado con la presencia de una alta actividad solar, como las fulguraciones o eyecciones de masa coronal (Datta, 2008) e incluso la influencia de bólidos (fragmentos congelados, meteoritos, cometas y, en ciertos casos, asteroides) que impactan la Luna y producen lunamotos y elevación de la temperatura (Iorio, 2011). Observando los primeros 8 cráteres de la tabla 2, probablemente podríamos avistar un fenómeno lunar transitorio con las variables anteriores utilizando como herramienta la figura 6 del investigador Arlin Crotts.

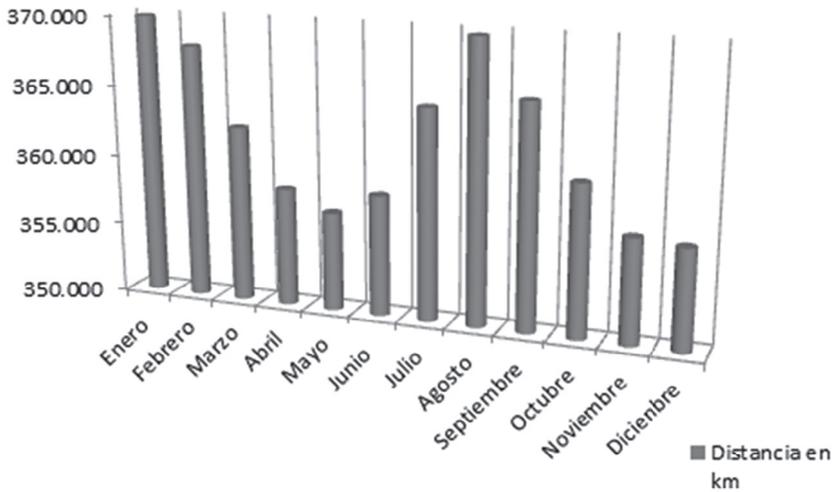


Figura 5. Apogeo lunar en los meses del año, jalones gravitatorios en mayor intensidad.
(Fuente: El autor).

Tabla 2. Frecuencias relativas de los reportes de fenómenos lunares transitorios en porcentaje

Frecuencias relativas (1-sigma de error)	Lugar característico (cráter, valle, zona de montes)
46,7% (3,3%)	Aristarco, valle de Schroter
15,6% (1,9%)	Plato
4,1% (1,0%)	Mar de Crisium
2,8% (0,8%)	Tycho
2,1% (0,7%)	Kepler
1,6% (0,6%)	Grimaldi
1,4% (0,6%)	Copérnico
6,2% (1,2%)	La suma de Tycho, Copérnico y Kepler
1,1% (0,5%)	Alfonso, Bessel, Cassini, Messier, Ptolemaus o Riccioli
0,9% (0,5%)	Eratóstenes, Gassendi, Kant, Lichtenberg, E. de picar, pico de SW, Posidonius, Proclus, Promontorium, Heraclides o el Polo Sur
0,7% (0,4%)	Calippus, Eudoxo, Godin, La Hire o Theaetetus
0,5% (0,3%)	Picos de los Montes Alpes, Atlas, Hércules, Littrow, Macrobius, mar de Humorum o el mar de Nubium.
0,2% (0,2%)	Alpetragius, Carlini, Daniel, Hansteen, Helicón, Herschel, Humboldt, Hyginus, Manilius, Pallas, Pickering, Pierce A o las montañas de Taurus

Fuente: Crotts (2009)

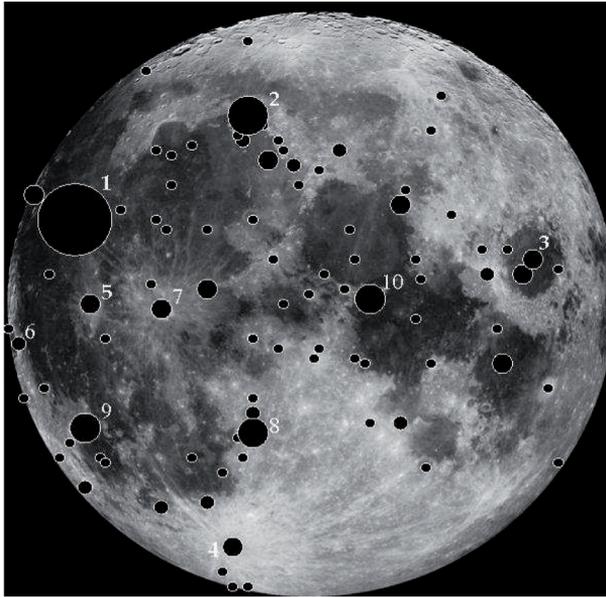


Figura 6. Distribución de fenómenos lunares transitorios basados en informes, con la excepción de una minoría de casos que se rechazan por las condiciones de veracidad. El tamaño de los círculos representa el número de informes de fenómenos lunares transitorios: 1) Aristarchus (incluso el valle de Schröter, la Cabeza de Cobra y Herotus), 2) Platón, 3) la Yegua Crisium, 4) Tycho, 5) Kepler, 6) Grimaldi, 7) Copérnico, 8) Alphonsus, 9) Gassendi y 10) Ross D. (Tomado de la NASA, citado por Crotts, 2009).

2.2 ASPECTO PRÁCTICO

En la práctica de investigación, se realizaron captura de imágenes lunares en intervalos de tiempo mensuales y generalmente en fase lunar creciente y menguante, ya que al momento de la captura se puede visualizar y detallar mejor la superficie lunar a diferencia de fase llena y nueva por medio de un telescopio refractor de 60 mm utilizando una cámara digital Genius de 6 megapíxeles en compañía de un ordenador por el cual se utiliza el *software* Astroart que permite procesar y hacer visualizaciones en 3D de los cráteres más activos en los fenómenos lunares transitorios. Lo que se busca por medio de la escena capturada es un pequeño punto sobresaliente a los demás detalles de la Luna (ver figura 7a) ya procesadas y analizadas por medio del *software* Astroart. En las imágenes 3D se visualiza una protuberancia más iluminada que el área circundante (ver figura 7b). De esta forma, al capturar imágenes lunares, podemos analizarlas y determinar si ocurrió un fenómeno lunar transitorio en ese instante de la observación.

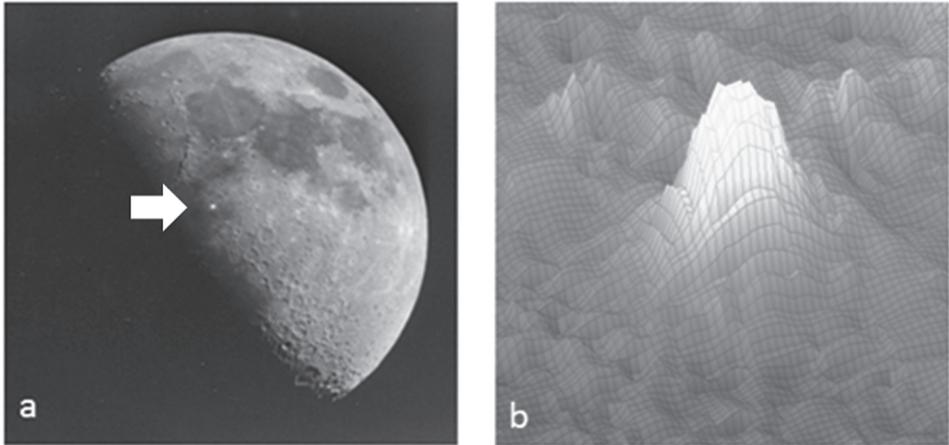


Figura 7.a). Fotografía de un fenómeno lunar transitorio. Se aprecia un pequeño punto en el centro de la imagen. (Tomada de Stuart, 1953).

Figura 7.b). Imagen procesada en Astroart, que muestra la luminosidad que presenta el pequeño punto de la imagen original. (Fuente: El autor).

El autor realizó observaciones y toma de fotografías como muestra las imágenes capturadas el día 11 de septiembre de 2011, en las afueras de la ciudad de Ibagué a las 15:23 UTC (8:23 p. m.). El monitoreo principalmente se centró en los cráteres más activos, como lo son Aristarco, Platón y Kepler, ya que son cráteres que poseen gran cantidad de registros y probabilidad de avistar un fenómeno lunar transitorio.

El valle de Schroter, la meseta y el cráter Aristarco incluido Heródoto (ver figura 8a) se presenta en una forma similar a un montículo resultado de la orogénesis que a la vez sirve como canal tubular para el escape de gases (Wieczorek, 2006) como se ve en la Tierra, que presenta actividad geológica y lo que escapa del interior es lava. Un ejemplo son los géiseres de Yellowstone en Estados Unidos. Este valle, meseta y cráter constituyen el principal objeto de estudio comparativo de los fenómenos lunares transitorios.

El cráter Platón (ver figura 8b) posee una superficie plana y presenta un alto número de registros de fenómenos lunares transitorios. A su vez, cubre una vasta región de suelo blando que, al verse perturbado con pequeños lunamotos, pueden formar fracturas que sirven como vías de escape de gases y vapor de agua, ya que esta región puede albergar hielo por la temperatura que presenta en la oscuridad de la noche

lunar (Boersma, 2009). Existen reportes muy antiguos de la presencia de fenómenos lunares transitorios en este cráter.

El cráter Kepler (ver figura 8) también es activo en los fenómenos lunares transitorios por lo que no es de extrañar que la sonda espacial Prospector haya detectado gases que emanaban de allí (Kobrick, 2010). En este cráter, algunos minerales producen gases que luego salen a la superficie, brillan por la luz incidente del Sol y forman un posible fenómeno lunar transitorio (Shuster, 2009).

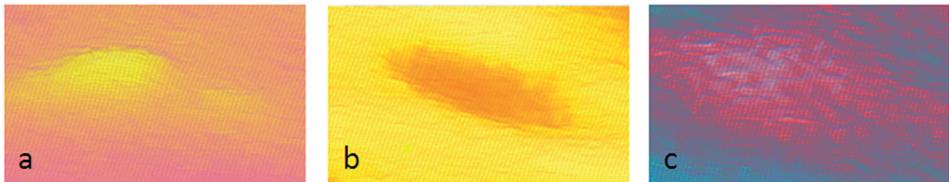


Figura 8. Cráteres activos en los fenómeno lunar transitorio: a) Meseta, cráter Aristarco, palette color; b) cráter Plato, palette flame; c) cráter Kepler, palette jazz. Imágenes capturadas por un telescopio de 6cm de diámetro con 70 cm de distancia focal, cámara digital Genius y procesadas en Astroart. (Imágenes capturadas y procesadas por el autor).

3. DISCUSIÓN

La principal incertidumbre actual del estudio de los fenómenos lunares transitorios son los instrumentos por los cuales se capturan las imágenes que probablemente pueden tener un defecto óptico, como el ruido al momento de la captura de la escena, pero es notable que hay reportes e hipótesis erróneas contra reportes contundentes como se muestra en la figura 9, que hace evidente que el fenómeno en realidad ocurre en la superficie de la Luna y no a causa del instrumento fotográfico. Otro punto a favor en la veracidad de estos fenómenos es que, si fuera ruido, se visualizaría dispersamente, pero estas protuberancias o columnas ascendentes están bien definidas y no se esparcen por toda la fotografía.

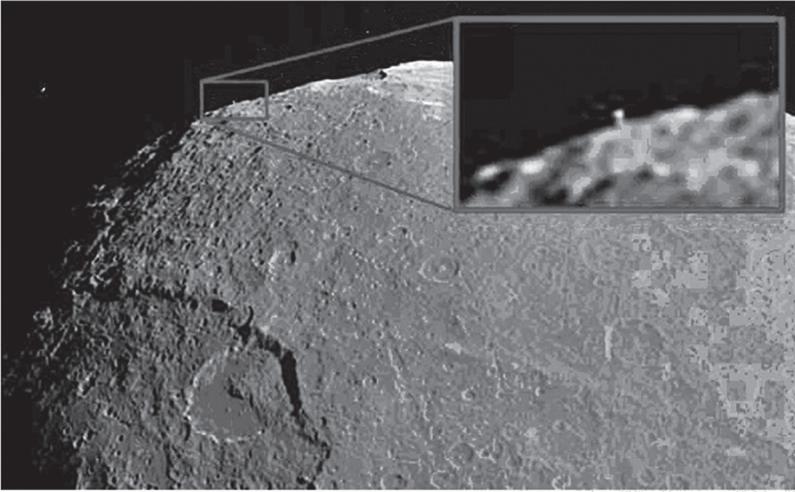


Figura 9. Imagen de un fenómeno lunar transitorio. En la escena se muestra una pequeña columna ascendente, vista de la cara frontal. (Tomada de Darnaude, 2010).

Las observaciones y el trabajo teórico indican que es posible que el sistema Sol-Tierra-Luna ejerza perturbaciones influyentes en los fenómenos lunares transitorios y que la teoría de la desgasificación sea la explicación más probable, ya que esta comprende y explica las manifestaciones de una leve actividad geológica lunar causante de estos fenómenos. La científica Bonnie Buratti, investigadora del Laboratorio de Propulsión a Chorro y de muchas misiones de la NASA, es una de las personas que ha estudiado este y otros tipos de fenómenos lunares (Jet Propulsion Laboratory [JPL], 2011), y afirma lo siguiente: “[...] no hay observadores contundentes que avisten los fenómenos lunares transitorios y así se pueda rectificar datos y dar explicaciones contundentes acerca de los fenómenos lunares transitorios” (Long, 2007). Por tanto, se debe realizar mayor estudio de nuestro satélite, a fin de verificar las teorías que se han formulado (Meijer, 2008). A favor se encuentra la investigación dirigida por el autor.

4. CONCLUSIONES

Según la teoría planteada en este artículo para los fenómenos lunares transitorios la luna posiblemente debetener una reducida actividad geológica teniendo como base la reciente estructura INA y estos fenómenos. Por supuesto que dichas manifestaciones están en menores proporciones a las existentes en la Tierra y en los sistemas planetarios estudiados: el caso de Europa de Júpiter, Encelado de Saturno y Tritón de

Neptuno. Explicados de forma teórica como depósitos de gases, principalmente, de radón, influenciados por manifestaciones geológicas e interactuando con la luz del Sol. También está presente la Tierra (con sus jalones gravitacionales) que producen en nuestro satélite los llamados fenómenos lunares transitorios.

Se analizó la existencia de una mayor probabilidad para avistar, registrar, fotografiar y estudiar un fenómeno lunar transitorio. Con ayuda de las estadísticas consolidadas por Crotts (2007) se establece que un 80% de los avistamientos son reales, y Cameron (1972) estableció que existen en diferentes catálogos unos 771 reportes de este fenómeno, dándonos así los principales objetivos para fotografiar con el telescopio y luego procesar estas imágenes por medio de *software* Astroart.

Principalmente, en el trabajo se aceptan las características y parámetros de la teoría de la desgasificación lunar propuesta en sus artículos por Crotts, (2007), ya que es probablemente la más acertada para la explicación de los fenómenos lunares transitorios. Cabe resaltar que los fenómenos están relacionados con los cráteres más que con los mares lunares; los más activos son las zonas referentes al cráter Aristarco y a los cráteres más jóvenes.

Misiones espaciales, como la GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory), lanzada el 10 de septiembre de 2011, brindarán más información de la selenografía tanto interior y exterior de la Luna y así contribuir a comprobar diferentes teorías acerca los fenómenos lunares transitorios, para adquirir más conocimientos científicos acerca del satélite natural de la Tierra.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al profesor José Herman Muñoz del Departamento de Física de la Universidad del Tolima; a los profesores Benjamín Calvo y José Gregorio Portilla del Observatorio Astronómico de la Universidad de Nacional; al profesor Alberto Quijano Vodniza del Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño; al profesor Alejandro Guarnizo de la Universidad de Heidelberg, Alemania; al licenciado Julio Ernesto Paipa Nieto; al Grupo de Astronomía Urania Scorpius en memoria del profesor q. e. p. d., Alonso Medina, por sus orientaciones y asesorías académicas.

REFERENCIAS

- Apollo 11 Mission. *Mission Overview* (s. f.). Lunar and Planetary Institute [en línea]. Consultado en <http://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/apollo/apollo_11/>.
- Bartneck, C. (2007). *Design methodology is not design science*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, Department of Industrial Design.
- Berezhnoi, A. A. *et al.* (2000, julio). Radio emission of the Moon before and after the lunar prospector impact. *Journal Reference*.
- “Imagen de la superficie de Tritón” (2011). *La Bitácora de Galileo* [en línea]. Consultado el en <<http://www.bitacoradegalileo.com/2011/05/17/neptuno-ciclones-lejanos/>>.
- Boersma D.J.; Gladstone L. y Karle, A. (2009). *Moon shadow observation by Icecube*. *Madison: ICRC, L’OD’Z*
- Bratkov, Y. N. (2006). *Flow dynamics of the Moon*. Moscú: Central Research Institute of Machine Building Moscow.
- Columbia Astrophysics Laboratory (CAL) (2011). *Crotts A*, Universidad de Columbia. Disponible en: <http://www.astro.columbia.edu/~arlin/research.html>
- “Misión Lunar Prospector (1998-1999)” (2008). *La Luna* [en línea]. Consultado el 21 de abril de 2012 en <http://www.cosmopediaonline.com/Luna/lunar_prospector.html>.
- Crotts, A. (2007, junio). *Lunar outgassing, transient phenomena and the return to the Moon III: Observational and experimental techniques*. Columbia University, Department of Astronomy, Columbia Astrophysics Laboratory, Nueva York
- Crotts, A. (2008). *Lunar Outgassing, Transient Phenomena And The Return To The Moon I: Existing Data*. Columbia University, Department of Astronomy, Columbia Astrophysics Laboratory, Nueva York.
- Crotts, A. (2008). *Lunar outgassing, transient phenomena and the return to the Moon I: existing data*. Columbia University, Department of Astronomy, Columbia Astrophysics Laboratory, Nueva York.
- Crotts, A. (2010). *Lunar outgassing, transient phenomena and the return to the Moon III: observational and experimental techniques*. Columbia University, Department of Astronomy, Columbia Astrophysics Laboratory, Nueva York
- Crotts, A. y Hummels, C. (2009). *Lunar outgassing, transient phenomena & the return to the Moon, II: predictions and tests for outgassing/regolith interactions*. Columbia University, Department of Astronomy, Columbia Astrophysics Laboratory, Nueva York

- Crotts, A. y Hummels, C. (2009). *Lunar outgassing, transient phenomena and the return to the Moon II: predictions of interaction between outgassing and regolith*. Columbia University, Department of Astronomy, Columbia Astrophysics Laboratory, Nueva York
- Crotts, A. *et al.* (2008). Lunar and planetary science. *Monitoring lunar surface changes during and after the Kaguya mission*.
- Crotts, A. *et al.* (2007). *Probing lunar volatiles: initial ground-based results*. *Lunar and Planetary Science*, XXXVIII, 1-2
- Darnaude, I. (2010). Imagen de FLT [en línea] Consultado el 12 de marzo de 2012 en <http://www.ignaciodarnaude.com/anomalias_luna/TLP,M.A.Petit-5.png>.
- Datta, J. y Chakravarty, S. C. (2008, octubre). *Chandrayaan-1 – India’s First Mission to the Moon*, Indian Space Science Office, ISRO Headquarters, Bangalore.
- Fahrenheit, B. (1999). *El mundo de la física*. Stuttgart: Daimon.
- Gaddis, L. R. *et al.* (2002). *Compositional analyses of lunar pyroclastic deposits*. Hawái: Universidad de Arizona.
- Hack, M. “La Luna”, “El clima lunar”, pag 67, *características de la superficie lunar*. En *El universo* (p. 70). Barvelona: Observatorio de Fabra-Editorial Labor.
- Hedman, M.M. *et al.* (2010). The Architecture of the Cassini Division. *The Astronomical Journal*, 139, 228-251.
- Holmstrom M. *et al.* (2011, 8 de julio). The interaction between the Moon and the solar wind. Swedish Institute of Space Physics, Sweden.
- Holmstrom M. *et al.* (2010). Dynamics of solar wind protons reected by the Moon. Swedish Institute of Space Physics, Sweden, Space Physics Laboratory, India. .
- Iorio, L. (2011). An Empirical Explanation of the Anomalous Increases in the Astronomical Unit and the Lunar Eccentricity. *Astro Journal*, 142, 68.
- Iorio, L. (2011). *On the anomalous secular increase of the eccentricity of the orbit of the Moon*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 415, 1266-1275.
- “Bonnie Buratti” (2011). *Jet Propulsion Laboratory* [en línea]. Consultado en <<http://science.jpl.nasa.gov/people/Buratti/>>.
- “NASA spacecraft reveals recent geological activity on the Moon”(2012). *NASA* [en línea]. Consultado el 16 de enero de 2012 en <http://www.nasa.gov/mission_pages/LRO/news/lunar-graben.html>.
- Kobrick, R. L.; Klaus, D. M. y Street, K. W. (2010). *Defining an abrasion index for lunar surface systems as a function of dust interaction modes and variable concentration zones*.

- Boulder, CO: Universidad de Colorado, NASA.
- Los misterios de la Luna* (2007, 11 de diciembre) [documental], Long, T. (dir.).
- “The Lunar Prospector Mission” (2004). Lunar and Planetary Institute [en línea]. Consultado el 26 de abril de 2012 en <<http://www.lpi.usra.edu/expmoon/prospector/prospector.html>>.
- Matthew, S. T. *et al.* (2010, 24 de enero). Physical characteristics and non-keplerian orbital motion of “propeller” moons embedded in saturn’s rings. *Astrophys. Journal Letters*, 718, L92-L96.
- Meijer, R.J. y Westrenen, W. V. (2008). An alternative hypothesis for the origin of the Moon. *Earth and Planetary Astrophysics*.
- Montgomery, M.M. (2009, 22 de septiembre). Earth, Moon, Sun, and CV Accretion Disks. *Solar and Stellar Astrophysics*.
- Müller, H.; Heidmanna, H.J. y Apelb, U. (2007). *Autonomous European lunar exploration-Entry point for a global cooperation*. Bremen: Instituto Tecnológico y Aeronáutico de Alemania.
- Nasim, O. W. (2011) *The ‘Landmark’ and ‘Groundwork’ of stars: John Herschel, photography and the drawing of nebulae*. Zürich: Swiss Federal Institute of Technology.
- Nayakshin, S. (2008). Rotation of the Solar System planets and the origin of the Moon in the context of the tidal downsizing hypothesis. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 410(1), L1-L5.
- “Observatorio espacial Herschel”(2011).ESA [en línea]. Consultado el 28 de febrero de 2012 en<http://www.esa.int/SPECIALS/Herschel/SEMSN00YUFF_0.html>.
- Phillips, T. (2006). Is the moonstill alive? *NASA Ciencia* [en línea]. Consultado el 7 de mayo de 2012 en <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2006/09nov_moonalive/>.
- Pieters, C. et al. (2008). *Moon Mineralogy Mapper*. India: Indian Space Research Organisation (ISRO).
- Portilla, J. G. (2000). El movimiento de los cuerpos celestes. En *Astronomía para todos* (p. 191) (2.ª ed.). Bogotá: Universidad Nacional-Facultad de Ciencias. Russell, H. N.; Dugan, R. S. y Stewart, J. Q. La Luna. En *Cosmografía*. Nueva Jersey (EE. UU.): Uteha-Editorial Hispano-Americana.
- Shuster, D. L. et al. (2009). *A record of impacts preserved in the lunar regolith*. Berkeley (EE. UU.): Elsevier B.V.
- Sigismondi, C. y Imponente, G. (2000, abril-junio). The observation of lunar impacts

- I.WGN, the Journal of the IMO, International Meteor Organization.
- Sigismondi, C. y Imponente, G. (2001, 14 de mayo). The observation of lunar impacts. Part II.WGN, *Journal of the International Meteor Organization*, 28(6), 230-232.
- Stevenson, D.J. (1987). *Origin of the moon—The collision hypothesis*. Pasadena: Instituto de tecnología de California.
- “Leon Stuart’s Photograph of a Lunar Flare” (1956). *Famous Amateur Astronomes* [en línea]. Consultado el 5 de marzo de 2012 el en<<http://labbey.com/Famous/Stuart.html>>.
- Taylor, G. J. y Martel, L. M. (2003). *Lunar prospecting*. Hawái: Universidad de Hawái.
- Wieczorek, M. (2006). *The constitution and structure of the lunar interior*. París: Institut de Physique du Globe de Paris.
- Wilhelms, D.E. (1987). *The geologic history of the moon*. Arizona: Universidad de Arizona.
- Ziethe, R.; Seiferlin, K. y Hiesinger, H. (2008). ESA. *Duration and extent of lunar volcanism: Comparison of 3D convection models to mare basalt ages*. Noordwijk ZH, The Netherlands: Elsevier B.V. 

Referencia	Fecha de recepción	Fecha de aprobación
Cruz Roa, Andrés Felipe Actividad en la superficie lunar: fenómenos lunares transitorios Revista Tumbaga (2012), 7, 7-26	Día/mes/año 23/08/2011	Día/mes/año 23/05/2012