

Detección automática de flashes de impacto en videos planetarios

Joaquín Bogado

27 de septiembre de 2016

Resumen

Los flashes de impacto son fenómenos transitorios que pueden observarse en la superficie de gigantes gaseosos como Júpiter o Saturno o en la Luna (en la superficie no iluminada). Estos flashes se producen por la colisión o el ingreso a la atmósfera de asteroides de diferentes tamaños y pueden observarse con telescopios modestos y equipo al alcance de astrónomos amateur.

Este trabajo explica detalladamente el funcionamiento de una nueva técnica utilizada por astrónomos profesionales y observadores amateur para detectar posibles flashes de impacto en videos de observaciones planetarias, especialmente en videos de Júpiter y Saturno, de manera automática.

Como resultado de aplicar la técnica de Lucky Imaging, es común capturar varios minutos de video en los cuales es posible observar flashes de impacto. Sin embargo, es una tarea ardua revisar 40 minutos de video buscando eventos de entre 1 y 3 segundos de duración, más teniendo en cuenta que la mayoría de las sesiones de observación dicho evento no aparece. Es de vital importancia entonces realizar esta tarea utilizando software que procese los videos por lotes.

1. Introducción

En julio de 1994, los fragmentos del cometa Shoemaker-Levy 9 ingresaron a la atmósfera joviana y por primera vez en la historia, la humanidad estaba mirando. Si bien este evento, hasta ese momento, único permitió el estudio de capas de nubes normalmente ocultas a la vista de los astrónomos, también despertó interrogantes en la comunidad científica acerca de cuán frecuentes serían estos impactos.

Sin embargo, responder dicha pregunta, implica monitorear permanentemente a Júpiter y Saturno durante un período considerable de tiempo. Esto no es factible desde un solo observatorio (ya que solo se pueden realizar observaciones durante la noche) pero tampoco puede hacerse utilizando la red de observatorios internacionales, ya que los astrónomos deben dividirse el tiempo de utilización de estos observatorios entre los diversos proyectos de investigación. Fue así que los astrónomos profesionales recurrieron a la comunidad amateur.

Durante los años 90 y principios de 2000, los astrónomos amateur se vieron beneficiados por la reducción de costos de los sensores de captura digitales[1] y por los importantes avances en las técnicas de captura y procesamiento de imágenes[2]. El día de hoy, con relativamente poco dinero, es posible tomar fotografías del

cielo nocturno con validez científica, desde el patio de nuestra casa. Mejor aún, los astrónomos amateur están repartidos alrededor del mundo en ambos hemisferios y pueden cubrir un rango de observación diario mayor que el de cualquier observatorio profesional que trabaje por su cuenta.

Esto se refleja en el número de producciones científicas que involucran a observadores amateur, el cual ha experimentado un importante aumento desde principios de 2000, como puede verse en la figura 1.

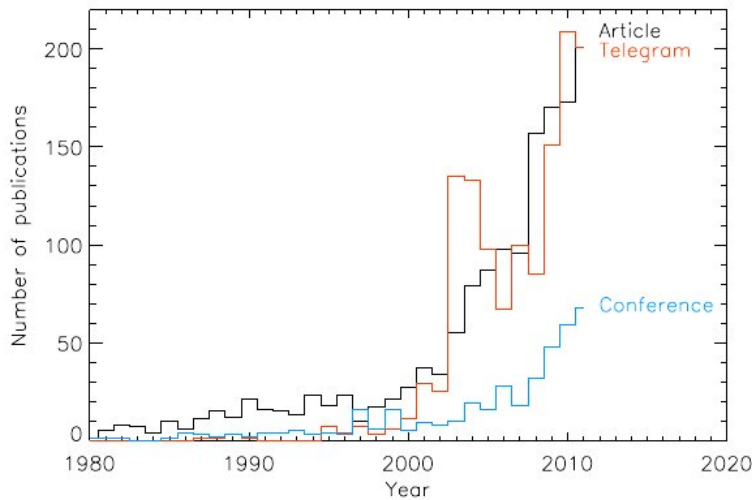


Figura 1: Estadísticas que muestran el incremento del número de publicaciones que involucran observadores amateur. Fuente: [3]

Existen diversas asociaciones que hacen de nexo entre los observadores amateur y los profesionales. Entre ellas, la International Outer Planets Watch (IOPW) cuenta con una base de datos de observaciones, la gran mayoría realizadas por la comunidad amateur llamada Planetary Virtual Observatory and Laboratory (PVOL)¹. Otras asociaciones como la Association of Lunar and Planetary Observers in Japan (ALPO-Japan)², la Societe Astronomique de France (SAF)³ o la Association of Lunar and Planetary Observers (ALPO)⁴, no solo son frecuentadas por astrónomos profesionales en busca de las últimas observaciones realizadas por los amateur, sino que también brindan ayuda a los observadores nóveles y publican nuevas técnicas y software para mejorar la calidad científica de las observaciones amateur. Dichas asociaciones son de vital importancia en la colaboración PRO/AM.

¹<http://www.pvol.ehu.es/pvol/>

²<http://alpo-j.asahikawa-med.ac.jp/indexE.htm>

³<http://www.astrosurf.com/saf/SAF>

⁴<http://alpo-astronomy.org/ALPO>



Figura 2: Localización geográfica de astrónomos amateur que reportan frecuentemente a la PVOL. Fuente: [4]

2. La técnica de Lucky Imaging

Una técnica ampliamente difundida entre los observadores planetarios amateur es la que se denomina Lucky Imaging. Si bien los fundamentos de dicha técnica datan de 1978[5], no fue hasta que aparecieron las webcams que los astrónomos amateur comenzaron a experimentar con la obtención de imágenes de alta resolución utilizando esta técnica.

Dado que esta técnica aplicada a la obtención de imágenes de estrellas variables se explica con detalles en [6] y con menor detalle pero aplicada a fotografía planetaria en [1] y [2], solo se explicaran aquí y de manera somera solo los aspectos necesarios del funcionamiento de esta técnica necesarios para la aplicación del método descrito en este trabajo en la sección 4.

El problema con la obtención de fotografías de alta resolución de la Luna o los planetas desde observatorios terrestres es que la atmósfera de la tierra produce distorsiones que degradan el rendimiento teórico de los equipos astronómicos. Estas distorsiones son transitorias y se producen como consecuencia de las diferentes densidades (debido a la temperatura) y direcciones (debido al viento) de las capas atmosféricas que la luz debe atravesar hasta llegar al sensor de la cámara. Dado que este efecto es transitorio, existe una probabilidad mayor que cero de que en una secuencia de fotos, una en particular no esté distorsionada. Esta probabilidad depende, de acuerdo al trabajo de David Fried[5], del frame rate y del ángulo sólido de cielo que cubre el sistema sensor/telescopio. Básicamente, cuanto más grande dicho ángulo, es decir, cuanto mayor sea la porción de cielo que se desea fotografiar y cuanto más lento el frame rate, menor será la probabilidad de obtener una foto sin distorsión.

En fotografía planetaria, existen dos aspectos que hacen que esta técnica sea relativamente fácil de aplicar. Por un lado, los planetas como Júpiter o Saturno cubren un área de entre 30 y 60 segundos de arco (arc sec), a diferencia de la Luna o las fotografías de espacio profundo que cubren varios minutos de arco, es decir, la porción de cielo a fotografiar es pequeña. Por otra parte, a

medida que el frame rate aumenta, se reduce la sensibilidad del sensor, con lo que los objetos más tenues no pueden ser fotografiados a un frame rate muy elevado. Sin embargo, Júpiter, Saturno, Venus, Mercurio y la Luna son objetos son relativamente brillantes, con lo que se pueden usar frame rates del orden de decenas a cientos.

Entre los astrónomos amateur la técnica se aplica capturando un video al mayor frame rate posible de manera que el objeto a fotografiar tenga un histograma balanceado. La duración del video depende de varios aspectos pero por lo general no supera los 60 segundos duración en Júpiter ni 90 segundos en Saturno ya que la rotación de estos planetas se hace evidente a grandes aumentos y esta tiende a introducir blur en los detalles. Este video luego es procesado utilizando programas como Registax o Autostackert, los cuales seleccionan un porcentaje de los mejores frames de acuerdo a algún criterio (bordes más afilados, frecuencias más altas, Strehl ratio) y luego registran y apilan dichos frames (técnica de shift and add) y producen una única foto de mayor calidad y resolución que cualquiera de los frames individuales del video. Esta técnica se aplica utilizando cámaras color, pero los amateur más serios utilizan cámaras monocromáticas más filtros específicos para obtener información más detallada de la luz del objeto⁵. Para obtener una fotografía en color utilizando una cámara monocromática, se debe repetir el procedimiento filmando un video con un filtro azul, otro con un filtro verde y otro con un filtro rojo. Además, suele tener importancia científica la luz reflejada en el infrarrojo cercano, para lo que es común utilizar un filtro long pass en las longitudes de onda 700-1000nm.

Como resultado de aplicar la técnica de Lucky Imaging, es común terminar con varios minutos (por experiencias propias, entre 10 y 40 minutos) de video en los cuales es posible observar flashes de impacto. Sin embargo, es una tarea ardua revisar 40 minutos de video buscando eventos de entre 1 y 3 segundos de duración, más teniendo en cuenta que la mayoría de las sesiones dicho evento no aparece. Es de vital importancia entonces realizar esta tarea por software y de manera automática.

3. Historia de los flashes de impacto

Los primeros registros de flashes de impacto en Júpiter fueron registrados en 1994 cuando los fragmentos de cometa Shoemaker-Levy 9 ingresaron a la atmósfera joviana. Dado que el impacto fue predicho con antelación, pudo ser registrado por diversos observatorios alrededor del mundo. En [7] puede verse un gif donde se ve el flash de impacto producido por uno de los fragmentos. La captura es de uno de los observatorios Max Planck Insitute y está basada en capturas en la banda del infrarrojo. En [8] y [9] existe una colección de fotos mantenida por NASA con los registros del fenómeno realizado por diferentes instituciones.

En 2009, el programador y astrónomo amateur australiano Antony Wesley descubrió una marca de impacto en sus fotografías de Júpiter[10]. El descubrimiento fue corroborado por fotografías del Telescopio Espacial Hubble, entre

⁵ Así lo explica Christopher Go en el video que puede verse en https://www.youtube.com/watch?v=8MeZh1V7p_Y. C. Go es uno de los más experimentados fotógrafos planetarios de la comunidad, y es autor de varios descubrimientos incluyendo la reaparición la Oval VA en 2006 y la reaparición del cinturón ecuatorial sur en 2010.

otros observatorios.



Figura 3: Imagen del Telescopio Espacial Hubble de la marca de impacto descubierta por A. Wesley en 2009. Imagen en dominio público.

Recién en junio de 2010 fue cuando se capturó un flash de impacto en video[11]. El evento fue filmado simultáneamente por Antony Wesley desde Australia y Christopher Go desde Filipinas. Previo a este descubrimiento, los científicos no sabían que este tipo de fenómenos podía observarse y abrió el interrogante de cuantos de estos se producían normalmente.

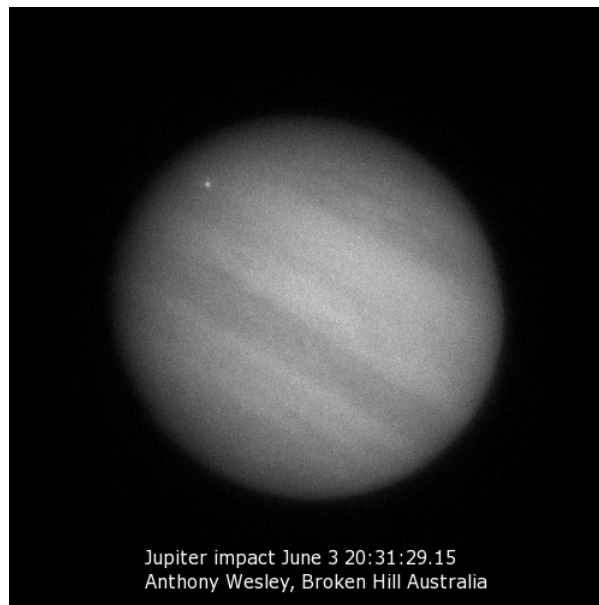


Figura 4: Primer flash de impacto capturado en video. RAW Frame ©(A. Wesley, 2010.)

En agosto de 2010, el amateur Masayuki Tachikawa de Japón observó un

fenómeno similar en una de sus capturas[12]. En septiembre de 2012 el astrónomo Dan Petersen observó y reportó un flash, que más tarde fue confirmado en video por George Hall, un astrónomo amateur de Estados Unidos. El evento filmado por Hall fue adquirido utilizando una webcam barata[13].

En marzo de 2016, un nuevo impacto fue registrado desde Austria por Gerrit Kernbauer, utilizando un telescopio de solamente 20 cm de apertura. Este evento más tarde fue confirmado por John McKeon, quien observaba desde Irlanda con un equipo un poco más importante[14].

Ninguno de estos impactos dejó marcas en la superficie de Júpiter y no hubiera sido posible descubrirlos excepto por los registros en video de estos astrónomos aficionados.

4. Algoritmo de identificación de flashes de impacto

Existen dos paquetes de software que implementan algoritmos de detección de flashes de impacto, ambos con un funcionamiento muy similar basado en la técnica de fotometría diferencial[15]. Dado que el software DeTeCt[16] presenta algunas mejoras respecto a JID[17][18], se estudiarán sus algoritmos como referencia para este trabajo. El método de detección utilizado por DeTeCt se explica en detalle en [19]. DeTeCt utiliza dos algoritmos que se detallan a continuación:

Sea

$$V = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$$

una secuencia de imágenes. El primer paso consiste en registrar el video. El proceso de registro garantiza cada pixel (x, y) del frame de referencia I_r se corresponde con el mismo feature del objeto a fotografiar en todos los I_n frames del video V . Esto se logra simplemente calculando el centro masa del planeta en el frame I_x y haciendo un shift para que las coordenadas de este centro de masa se correspondan con la del frame de referencia, usualmente I_1 .

4.1. Detección basada en el diferencial de intensidad

El primer algoritmo trata de determinar un incremento temporal en el brillo de un pixel, evento asociado a la aparición de algún posible flash de impacto. Asumiendo que el brillo de un pixel no varía demasiado en el tiempo, podemos detectar un flash de impacto si detectamos un pixel que se aleje mucho de su brillo promedio. Sea entonces $I_i(x, y)$ la intensidad del pixel de la posición (x, y) en el frame I_i , decimos que un pixel es candidato a mostrar un flash de impacto cuando la diferencia entre el brillo medio y el máximo es mayor que cierto umbral k . Podemos decir que hay un candidato a flash de impacto en el frame i si la intensidad de alguno de sus pixels $I_i(x, y)$ cumple que:

$$I_i(x, y) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i(x, y) \geq k$$

Cuan grande o chico es este umbral depende de la captura y en general es un parámetro que las herramientas permiten configurar a mano.

En la figura 5 puede verse el perfil de 4 pixels de un video de 500 frames filmado por A. Wesley⁶. En el pixel (115, 97) del frame 189 puede apreciarse un flash de impacto. Los pixels inspeccionados pueden verse en la figura 6

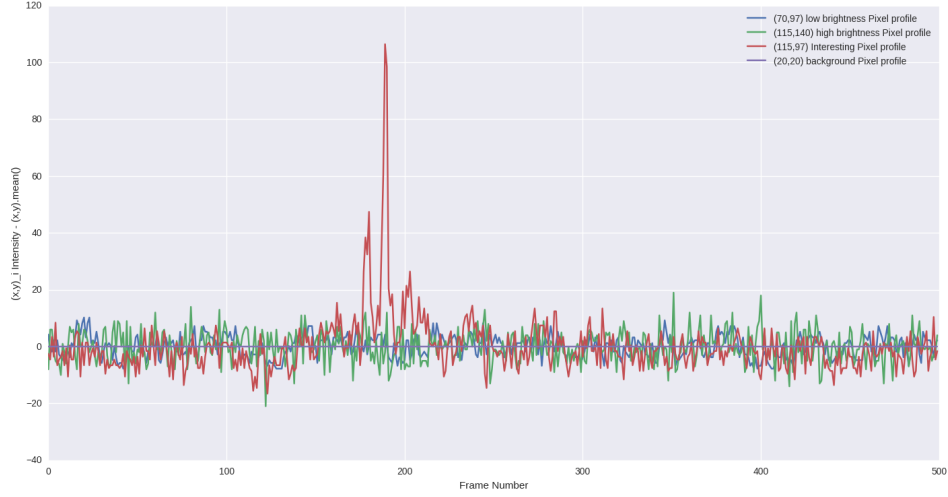


Figura 5: Diferencia entre la intensidad de un pixel y su media para los 500 frames para los pixelsl (70,97), (115,40), (20,20) y (115,97)

Para eliminar fluctuaciones en un pixel solo, tanto JID como DeTeCt realizan la búsqueda en una vecindad de 3×3 de cada pixel. JID además permite configurar la vecindad de detección.

4.2. Detección basada en inspección visual

El problema del algoritmo anterior, es que por un lado genera falsos positivos y sobretodo falsos negativos, dependiendo de la selección del umbral. DeTeCt además genera por cada video, un juego de tres imágenes para su inspección visual.

La primera imagen muestra para cada pixel (x, y) , el promedio de los pixels $I_i(x, y), i = 1, \dots, n$.

$$I_{avg}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i(x, y)$$

La segunda imagen muestra para cada pixel (x, y) , el máximo de los pixels $I_i(x, y), i = 1, \dots, n$.

$$I_{max}(x, y) = \max(I_i(x, y)), i = 1, \dots, n$$

La tercera imagen muestra la diferencia entre $I_{max}(x, y)$ y $I_{avg}(x, y)$.

$$I_{diff}(x, y) = I_{max}(x, y) - I_{avg}(x, y)$$

La figura 7 muestra un ejemplo de estas tres imágenes calculadas sobre el video de A. Wesley.

⁶El video en cuestión puede descargarse desde el sitio <https://jupiter.samba.org/jupiter/20100603-203129-impact/red-3000-3500.avi>

Estas imágenes pueden servir a los efectos de realizar una rápida inspección visual para determinar si los reportes de detección del software son falsos positivos o negativos.

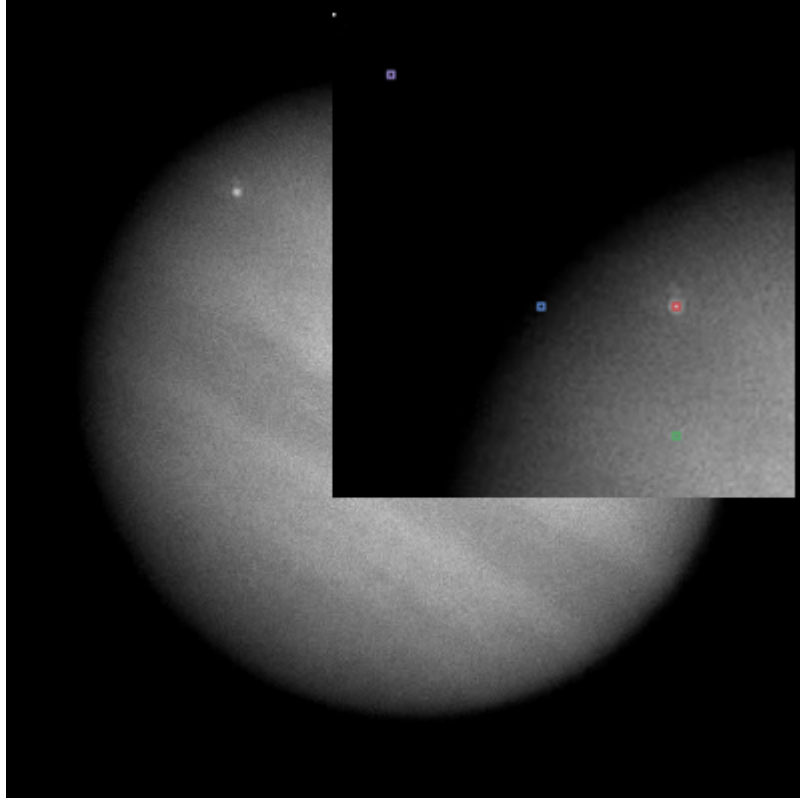


Figura 6: Localización de los pixels (70,97), (115,40), (20,20) y (115,97) en el video de A. Wesley.

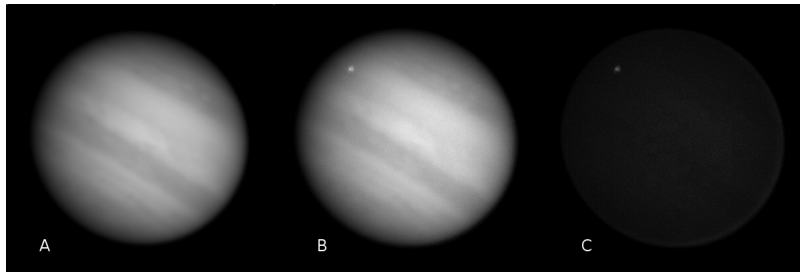


Figura 7: A: I_{avg} , B: I_{max} y C: I_{diff}

5. Conclusiones

Se describen en este trabajo, dos técnicas nóveles para la detección de flashes de impacto en Júpiter, aunque las mismas técnicas son aplicables a videos

de Saturno, las cuales han servido para estudiar la tasa real de impactos en dichos planetas, si bien no para establecerlas a ciencia cierta, para poner cotas importantes[20].

El software de análisis con los que se generaron los gráficos de las sección 4 es de mi propia autoría y se provee para su evaluación adjunto a la entrega de este trabajo.

Referencias

- [1] <http://www.cloudynights.com/page/articles/cat/articles/astrophotography/ccd-cameras-and-digital-cameras/digital-astrophotography-beginners-guide-r127>
- [2] [http://www.ast.cam.ac.uk/research/instrumentation.surveys.and.projects/lucky.imaging/latest.results/amateur.lucky.imaging](http://www.ast.cam.ac.uk/research/instrumentation/surveys.and.projects/lucky.imaging/latest.results/amateur.lucky.imaging)
- [3] Diversos autores. PRO-AM collaborations in Planetary Astronomy. Vol. 8, EPSC2013-197, 2013.
- [4] Diversos autores. Instrumental methods for professional and amateur collaborations in planetary astronomy. Springer. 2014.
- [5] D. L. Fried. Probability of getting a lucky short-exposure image through turbulence. Journal of the Optical Society of America Vol. 68, Issue 12, pp. 1651-1658. 1978
- [6] Nicholas Michael Law. Lucky Imaging: Diffraction - Limited Astronomy From The Ground In The Visible. Thesis disertation. Cambridge, 2006.
- [7] Impacto de uno de los fragmentos de SL9. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Max_Planck_Institute_Shoemaker%E2%80%9393Levy_9.gif. Imagen de dominio público.
- [8] Archivo fotográfico de NASA. SL9 Impact. http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/sl9/comet_images.html
- [9] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/sl9/html/sl9whatsnew.html>
- [10] <https://jupiter.samba.org/jupiter-impact.html>
- [11] <http://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/jupiter20100909.html>
- [12] <http://cosmicdiary.org/fmarchis/2010/08/22/another-flash-on-jupiter/>
- [13] <http://cosmicdiary.org/fmarchis/2012/09/10/another-fireball-on-jupiter/>
- [14] http://www.slate.com/blogs/bad_astronomy/2016/03/29/jupiter-hit-by_asteroid_or_comet_in_march_2016.html

- [15] Michael Richmond. Differential Photometry. http://spiff.rit.edu/classes/phys373/lectures/diff_photom/diff_photom.html. Licencia Creative Commons by-nc-sa 2.0.
- [16] http://www.astrosurf.com/planetessaf/doc/dtc/doc/dtc_tuto_en.htm
- [17] J. C. Moreno. Manual de Jupiter Impact Detection Software. Programa Para La Detección De Impactos En Júpiter. 2012.
- [18] JID home page. <http://www.astrosurf.com/jcmoreno/proyectos/jid/jid.htm>
- [19] M. Delcroix, R. Hueso. Jovian impact flashes detection with DeTeCt software project. EPSC2013-812. 2013.
- [20] Projet de détection de flash d'impacts avec le logiciel DeTeCt. http://www.astrosurf.com/planetessaf/doc/project_detect.shtml