

**Guillermo Giménez de Castro**  
 Centro de Radioastronomía y Astrofísica  
 Mackenzie, São Paulo  
**Hugh Hudson**  
 Universidad de Glasgow

# Eclipses de Sol, teléfonos celulares y ciencia ciudadana

**D**iferente de la divulgación científica, la *ciencia ciudadana* permite y fomenta que personas de cualquier nivel o área de instrucción colaboren en una empresa científica. Una forma de hacerlo es que se conviertan en proveedores de datos para los investigadores, actividad que desde el punto de vista de estos se conoce en inglés por *crowd-sourcing*.

Próximamente se podrán ver dos eclipses totales del Sol en ciertos lugares de la Argentina. Para los astrónomos son acontecimientos importantes porque les permiten obtener información crucial a los fines de avanzar su conocimiento de la atmósfera solar y de los campos magnéticos del astro. Esos eclipses se verán el 2 de julio de 2019 y el 14 de diciembre de 2020. Podrán ser apreciados por un gran número de personas en Chile y, sobre todo, en la Argentina, pues el primero se divisará desde la provincia de San Juan hasta el sur del Gran Buenos Aires.

Todas esas personas, además de tener la rara oportunidad de disfrutar de un poco frecuente y enormemente atractivo espectáculo brindado por la naturaleza, podrán también convertir sus teléfonos celulares (o cualquier otro adminículo que tome fotografías de alta definición y pueda ser controlado por una computadora interna o externa) en una herramienta científica, y ser ellos, en la ocasión, *científicos ciudadanos*.

## Eclipses parciales, anulares y totales de Sol

La extraordinaria coincidencia de que el Sol y la Luna tengan aproximadamente el mismo tamaño angular observados desde la Tierra produce a veces el espectáculo de un *eclipse total* de Sol, en el que el disco de aquella cu-

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

Un ejemplo de las posibilidades de ciencia ciudadana aplicada a investigaciones avanzadas.



Eclipses total, anular y parcial (de izquierda a derecha). Fotos Wikimedia Commons, la primera por Luc Viator.

bre completamente para los observadores el de este. Ese tamaño aparente depende de las distancias a que esos astros estén en cada momento de nosotros, la que para cada uno de ellos varía levemente a lo largo del año, sobre todo por ser elípticas las órbitas de los planetas y de los satélites de estos. Los eclipses de Sol se producen cuando, con Luna nueva, por algunos minutos —variables de eclipse—, se superponen las trayectorias aparentes de ambos astros en el firmamento y la Luna se nos aparece de igual o levemente mayor tamaño que el Sol; si se la ve levemente menor, tiene lugar un *eclipse anular*. En esas circunstancias, como es de día y está en el cielo cerca del Sol, no vemos la Luna, pero percibimos su silueta en forma un disco negro cuando advertimos que pasa entre nosotros y el Sol y su sombra nos envuelve. Si la superposición aparente de ambos astros es parcial y lateral, presenciamos un *eclipse parcial*.

Entre dos y cinco veces por año acontecen eclipses de Sol de algún tipo en algún lugar de la Tierra, lo que significa que en cualquier lugar del planeta son acontecimientos muy poco frecuentes. Menos frecuentes aún son los eclipses totales, que tienen lugar en promedio a razón de uno cada dieciocho meses, lo cual, unido a la estrechez de la franja terrestre desde la que los observadores ven el Sol ocultarse totalmente por interposición de la Luna, o *franja de totalidad*, indica que muy raramente se repitan al poco tiempo en un mismo lugar.

En Sudamérica, luego de los dos eclipses totales indicados, no ocurrirá otro por veinte años. Mientras que el esperado en diciembre de 2020 solo se apreciará en la Patagonia, en lugares con escasa población, la franja de totalidad del de julio de 2019 atravesará zonas muy pobladas de las provincias de San Juan, San Luis, Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires. El fenómeno acaecerá en horas cercanas a la puesta del Sol: en San Juan, en el momento del eclipse total el Sol estará a unos 11 grados de altitud sobre el horizonte occidental; en la provincia de

Buenos Aires, a aproximadamente 1 grado, por lo que se verá mejor en San Juan. La forma práctica de conocer con precisión desde donde será posible apreciarlo completo es consultar la página web indicada al final de las lecturas sugeridas.

Se pueden definir tres fases temporales de un eclipse solar total, delimitadas por cuatro momentos llamados *contactos* y designados respectivamente por C1, C2, C3 y C4, como se indica en el diagrama de la página 57. En los intervalos C1-C2 y C3-C4 el eclipse es parcial; es total en el intervalo C2-C3. La fase central es, estrictamente, un breve momento, aunque en el dibujo parezca más larga porque se intercaló la imagen del instante de completo ocultamiento del Sol o totalidad. En 2019, esa fase será del orden de los dos minutos y medio para observadores ubicados en el centro de la franja de totalidad en las cercanías de la precordillera, y más breve acercándose al Atlántico. Las otras dos fases son más prolongadas y duran lo mismo. En total, desde C1 hasta C4 transcurren más de dos horas.

Quienes miran cómo se produce un eclipse advierten que la Luna se desplaza en el espacio tanto con relación al Sol como a ellos, y no tienden a prestar atención al hecho de que el Sol también se está moviendo con relación a la Tierra, como se constata todos los días que lo hace entre el amanecer y el anochecer. Por eso, el diagrama debe interpretarse como cuatro instantáneas de lo que se vería en los momentos C1 a C4 en un lugar determinado del cielo, pero no fijo sino con un leve movimiento hacia el poniente: en esas más de dos horas desde C1 a C4 el Sol recorre más de 30 grados angulares en el firmamento.

Cuando en su movimiento en el cielo con respecto al Sol el extremo derecho del círculo de la Luna toca el disco solar se produce el primer contacto (C1), que marca el inicio del eclipse parcial. A medida que la silueta lunar progresa, va cubriendo el Sol hasta que su borde

izquierdo cubre el disco solar, con lo que se produce el segundo contacto (C2), que marca el comienzo de la totalidad. Esta dura solo un par de minutos, hasta que el extremo izquierdo de la silueta lunar comienza a dejar visible el Sol, momento del tercer contacto (C3). Por último, cuando el borde izquierdo del círculo lunar llega al borde derecho del Sol tiene lugar el cuarto contacto (C4), que marca el fin del eclipse parcial. En C2 y C3 se producen los fenómenos llamados de *anillo de diamante* y *perlas de Baily*, en los sitios representados en rojo.

## La corona solar: un espectáculo sin igual

En las fotografías de un eclipse total de Sol se logra observar las tres capas que forman la atmósfera solar: la *corona*, la *cromósfera* y la *fotosfera*. Se aprecia la dinámica de la primera y la estructura vertical de las otras dos. Por razones técnicas relacionadas con el funcionamiento de los telescopios especiales usados para escudriñar la corona —llamados *coronógrafos*—, los astrofísicos no pueden apreciar en otro momento sus detalles menores, que proporcionan información vital sobre los poco comprendidos campos magnéticos que forman la trama de la estructura atmosférica del Sol; en ausencia de dicha posibilidad de observación en cualquier momento, se han visto constreñidos a conjeturar acerca de la dinámica de esos campos sobre la base de los plasmas arrastrados por ellos.

Obtener fotos mientras ocurre la fase de totalidad de un eclipse constituye un gran desafío porque la atención del observador tenderá a dividirse entre la contemplación del espectáculo y la operación de la cámara. Sin embargo, esta se puede automatizar mediante aplicaciones ad hoc para teléfonos celulares o computadoras, de suerte que solo habrá que asegurarse de que el dispositivo enfoque el Sol. Un ejemplo de tales aplicaciones es el programa no comercial *Solar Eclipse Maestro*, debido al legendario cazador de eclipses francés Xavier Jubier. Se lo puede obtener en [http://xjubier.free.fr/en/site\\_pages/solar\\_eclipses/Solar\\_Eclipse\\_Maestro\\_Photography\\_Software.html](http://xjubier.free.fr/en/site_pages/solar_eclipses/Solar_Eclipse_Maestro_Photography_Software.html). Mediante su uso se puede tomar, típicamente, una secuencia de fotos (en jerga, *bracketing*) sacadas con diferentes tiempos de exposición. Como la corona es muy brillante cerca de la superficie solar, donde es más densa, y débil en zonas alejadas, usar fotos con diferentes tiempos de exposición permite tener imágenes que muestren detalles en todas las zonas.

Los autores participamos en el desarrollo de una aplicación llamada *Eclipse Camera 2019* que, en adición a brindar la información esencial sobre el eclipse, permite convertir un celular o una computadora de tipo

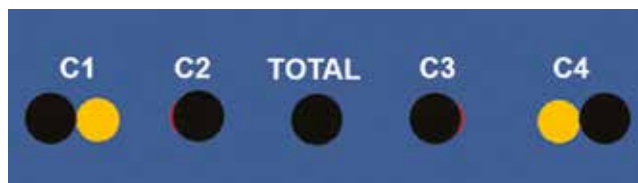
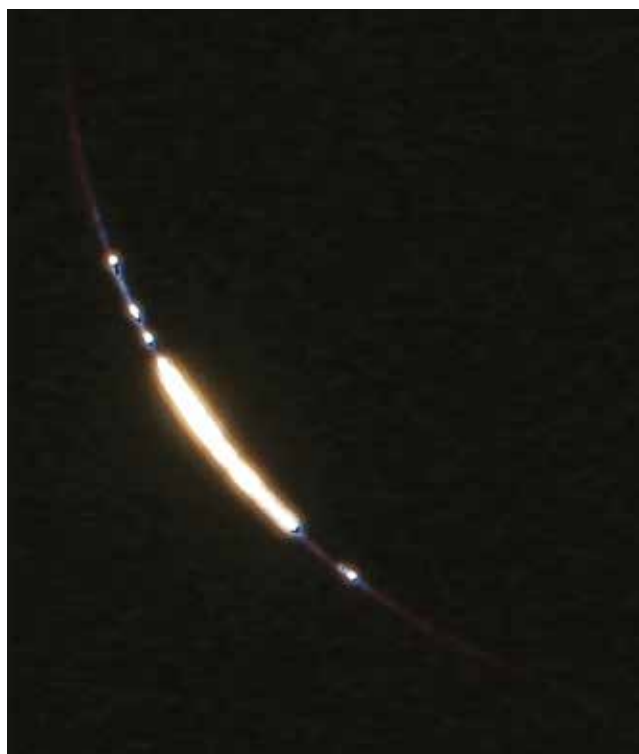


Diagrama explicativo de un eclipse solar total.

tableta con una cámara externa en un telescopio para registrar imágenes de la corona solar, las cuales después pueden ser compuestas y usadas para estudiar su estructura. El programa resultó de la colaboración de muchas personas de diferentes áreas académicas, países e instituciones, entre ellas, en la Argentina, Hebe Cremades, de la Universidad Tecnológica Nacional (sede Mendoza) y Marcelo López Fuentes, del Instituto de Astronomía y Física del Espacio (UBA-Conicet), Buenos Aires; en el Brasil, Caius L Selhorst, de la Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo; y en los Estados Unidos, Mark Bender, de Eclipse over America Inc., Braxton Collier, de Ideum Inc., Calvin Johnson, de Google Inc., Juan Carlos Martínez Oliveros, de la Universidad de Ca-



Perlas de Baily (*Baily's beads*). Descrietas en 1836 por el astrónomo británico Francis Baily (1774-1844), son puntos luminosos que se ven en los bordes del círculo oscuro de la Luna en breves instantes —unos pocos segundos— anteriores y posteriores a la totalidad. Los causa la luz solar que se filtra por las irregularidades de dichos bordes creadas por el relieve lunar. La fotografía fue tomada el 21 de agosto de 2017 en el oeste de los Estados Unidos, 4 segundos antes de la totalidad.



Anillo de diamante. Fotografía de un eclipse solar total tomada en el estado de Wyoming el 21 de agosto de 2017. La luminosidad que se distingue en el borde derecho de la sombra de la Luna evoca un gran diamante, lo que llevó a designar anillo de diamante (*diamond ring*) al fenómeno que muestra la imagen. Los colores semejantes a un arcoíris constituyen un efecto del lente.

lifornia en Berkeley, Laura Peticolas, de la Sonoma State University, y Vivian White, de la Astronomical Society of the Pacific. La aplicación está disponible en Apple Store (Iphone) y en Google Play (Android).

Uno de nuestros objetivos es que el usuario pueda registrar en forma automática los fenómenos anillo de diamante y perlas de Baily, que serán visibles en cualquier lugar del área de totalidad, pero más resplandecientes y prolongados en sus bordes, por ejemplo, en la ciudad de San Juan y algunos sitios del conurbano bonaerense.

La clave del éxito del experimento de ciencia ciudadana que nos proponemos realizar es el sobremuestreo masivo que resulta de recurrir a un gran número de observadores simultáneos. Aunque habrá astrónomos profesionales usando equipos avanzados que realizarán excelentes observaciones, no podrán estar presentes en toda la franja de totalidad. Por otro lado, los fenómenos dinámicos que esperamos observar ocurren en cualquier momento. Nuestra intención es recoger un gran número de imágenes en diferentes lugares, tanto del eclipse de 2019 como del de 2020, y ponerlas a disposición de investigadores y público en un archivo masivo. El proyecto *Megamovie* hizo esto en los Estados Unidos en 2017 en escala limitada, algo que también emprendió allí ese año el astrónomo japonés Yoichiro Hanaoka.

## La forma y el tamaño del Sol

Otro de nuestros intereses es determinar la forma y el tamaño del Sol. ¿Cuán esférico es? Aparentemente, su rotación, deducida del movimiento de las manchas solares, le causa un ligero engrosamiento en el ecuador. Pero ¿de qué rotación se trata? Está bien establecido que la superficie solar tiene una rotación diferencial, con la velocidad angular 30% mayor en el ecuador que en los polos. Júpiter tiene un comportamiento similar. Se cree que en las inaccesibles profundidades solares, por debajo de la fotosfera —de donde proviene el grueso de la luz visible emitida por el astro—, debe haber flujos de materia capaces de afectar su forma. Esto, sin embargo, es especulativo, por lo cual toda información que se logre obtener de un eclipse es importante.

El radio solar constituye un parámetro necesario para la astronomía. Por radio entendemos la distancia angular del centro al borde o limbo del disco solar. Pero, como el Sol es gaseoso, definir su limbo depende del método y la frecuencia de observación. En la banda visible del espectro electromagnético, el valor aproximado es de 959 segundos de arco. No sería difícil tomar esta medida en forma directa con gran precisión si pudiéramos apuntar telescopios grandes al Sol. Pero ello no es posible por la gigantesca intensidad de radiación que recibirían. Los pequeños instrumentos que se usan en su reemplazo se ven limitados por las fluctua-



Zonas de totalidad en la Argentina para los eclipses del 2 de julio de 2019 (izquierda) y del 14 de diciembre de 2020. Fuente [xjubier.free.fr/en/site\\_pages/eclipses.html](http://xjubier.free.fr/en/site_pages/eclipses.html)

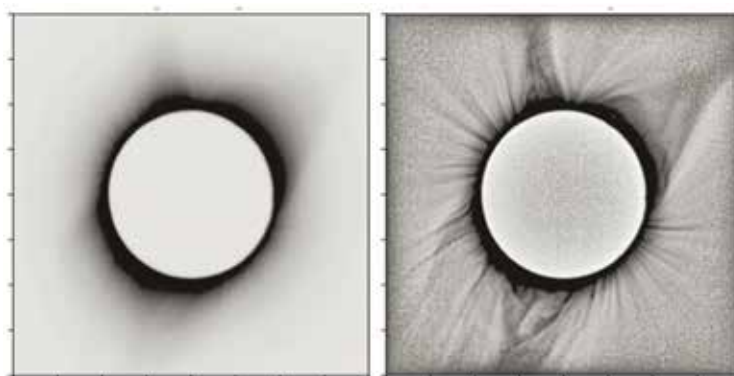


Pantalla inicial de *Eclipse Camera 2019* y su mapa interactivo.

ciones de la atmósfera terrestre, las cuales pueden oscilar entre 0,5 y 5 segundos de arco, dependiendo del lugar, lo que marca la precisión en la medida. Usando un telescopio en el espacio, se ha podido reducir ese valor a 0,1 segundo de arco, y también con telescopios en el espacio, por medio de tránsitos de planetas se lo ha llevado a 0,02 segundo de arco, una precisión del 0,002%. Pero estas últimas medidas fueron hechas con luz ultravioleta, mientras nuestro interés principal está en la banda visible, que define la ubicación de la fotosfera.

Dado que en términos astronómicos un eclipse es un tránsito de la Luna sobre el Sol, si pudiésemos conocer con gran precisión los instantes de la última (C2) y de la primera luz visible (C3), podríamos determinar el radio solar en forma precisa, porque conocemos con gran precisión las distancias y posiciones de la Luna y el Sol respecto de la Tierra. *Eclipse Camera 2019* grabará videos que revelarán estos instantes y establecerán el tiempo que los separa con una precisión del orden de 1 milisegundo. Promediando miles de observaciones independientes, ese valor se puede reducir, para llegar a una precisión nunca antes alcanzada.

Medir el radio solar de este modo, recurriendo a ciencia ciudadana, es algo absolutamente novedoso, hecho posible gracias a dos avances recientes: la amplia disponibilidad de GPS, que proveen el tiempo con una precisión de 1ms o mejor; y el conocimiento detallado de la superficie lunar, cuyas montañas, valles y cráteres hacen que sus bordes sean irregulares y afecten la comprensión de las observaciones de eclipses. Gracias a las recientes misiones japonesa *Selene* y estadounidense *Lunar Reconnaissance Orbiter*, disponemos de un mapa lunar completo con precisión de algunos metros. **[H]**



A la izquierda, imagen en color invertido tomada en 2017 por Braxton Collier durante la totalidad por medio de un celular con una lente 20x; a la derecha, composición de muchas exposiciones en colores invertidos procesados con la técnica Morgan-Druckmüller por Juan Carlos Martínez Oliveros.

## PRECAUCIÓN

Quien se proponga mirar un eclipse solar debe necesariamente utilizar anteojos protectores especiales –que conseguirá en negocios de óptica que vendan instrumentos astronómicos (o por Mercado Libre)– para resguardarse de los irreversibles daños que sin ellos sufriría su retina, incluso si mira por solo unos instantes. Anteojos comunes de sol no sirven. Omitir esta precaución puede conducir a la ceguera.

## LECTURAS SUGERIDAS

**COUDERC P**, 1969, *Los eclipses*, Eudeba, Buenos Aires.  
**ROVIRA M**, 2010, *El Sol*, Eudeba, Buenos Aires. Accesible en [http://xjubier.free.fr/en/site\\_pages/solar\\_eclipses/TSE\\_2019\\_GoogleMapFull.html](http://xjubier.free.fr/en/site_pages/solar_eclipses/TSE_2019_GoogleMapFull.html)



### Guillermo Giménez de Castro

Doctor en física, UBA.  
 Investigador en el Centro de Radioastronomía y Astrofísica Mackenzie, São Paulo.  
 Profesor, Universidad Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.  
[guigue@craam.mackenzie.br](mailto:guigue@craam.mackenzie.br)



### Hugh Hudson

Doctor (PhD) en física, Universidad de California, Berkeley.  
 Investigador emérito de la Universidad de Glasgow.  
[hugh.hudson@glasgow.ac.uk](mailto:hugh.hudson@glasgow.ac.uk)