

**TRÁNSITO SOLAR DE SATÉLITES GEOESTACIONARIOS:
ASTRONOMÍA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD EN EL SECUNDARIO**
**TRÂNSITO SOLAR DE SATÉLITES GEOSTACIONÁRIOS:
ASTRONOMIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE NO ENSINO MÉDIO**
**SOLAR TRANSITS OF GEOSTATIONARY SATELLITES:
ASTRONOMY, TECHNOLOGY AND SOCIETY IN HIGH SCHOOL**

**Néstor Camino¹, Micaela Magne², Gonzalo Matelo Mirco²,
Tiago Padilla², Joaquín Villa Diacinti²**

¹ Complejo Plaza del Cielo – CONICET-FHCS UNPSJB, nestor.camino@speedy.com.ar

² Ex-alumnos del Instituto Secundario Salesiano “San Luis Gonzaga” de Esquel

Resumen: *La sociedad planetaria actual está fuertemente globalizada, al menos en lo que respecta a la información, y son principalmente los adolescentes quienes de alguna manera “dan por hecho” que el mundo debe funcionar así, sin tomar conciencia no sólo de que esta situación existe desde hace muy pocas décadas, sino de cuáles son los requerimientos tecnológicos para que la sociedad tenga estas características. Nuestro trabajo llamará la atención sobre la red de satélites de telecomunicaciones geoestacionarios, no visibles a simple vista, pero posibles de inferir su existencia a través de la observación indirecta de ciertos fenómenos. El fenómeno estudiado se denomina “interrupción solar equinoccial” (solar outage) y sucede en días cercanos a los equinoccios. Durante este fenómeno, las comunicaciones se cortan durante pocos minutos debido a la influencia del Sol sobre los detectores en Tierra. Así, nuestro trabajo une a la Astronomía, a la Tecnología y a la vida en Sociedad, al estudiar en detalle de qué manera sucede el citado fenómeno, a través de la observación del mismo en las instalaciones del canal de televisión local, contribuyendo a tomar conciencia de los muchos presupuestos a partir de los cuales vivimos pero que en general no concientizamos, reflexionando además sobre el rol de la observación en el proceso de construcción de conocimiento científico. El trabajo fue desarrollado por un equipo de cuatro estudiantes (de 17 años), cuando estaban en el último año de la escuela secundaria, coordinado por un investigador externo a la institución. El estudio duró todo el año académico 2017. Los estudiantes están hoy cursando sus estudios en la universidad.*

Palabras-clave: satélites geoestacionarios, equinoccios, interrupción, sociedad planetaria.

Abstract: *Today's planetary society is strongly globalized, at least as far as information is concerned, and it is mainly adolescents who in some way “take it for granted” that the world must function like this, without being aware not only that this situation exists since very few decades ago, but what are the technological requirements for society to have these characteristics. Our work will draw attention to the network of geostationary telecommunications satellites, not visible to the naked eye, but possible to infer their existence through the indirect observation of certain phenomena. The phenomenon studied is called “equinoctial solar interruption” (solar outage) and happens in days close to the equinoxes. During this phenomenon, communications are cut off for a few minutes due to the influence of the Sun on the detectors on Earth. Thus, our work unites Astronomy, Technology and Life in Society, by studying in detail how the aforementioned phenomenon happens, through the observation of it in the premises of the local television channel, contributing to raise awareness of the many budgets from which we live but that in general we do not raise awareness, also reflecting on the role of observation in the process of construction of scientific knowledge. The work was developed by a team of four students (aged 17), when they were in the last year of high school, coordinated by a researcher*

external to the institution. The study lasted the entire academic year 2017. The students are currently studying at the university.

Keywords: geostationary satellites, equinoxes, outage, global society.

SOBRE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

En 1945 Arthur Clarke publica un artículo en el cual describe las características de la órbita geoestacionaria y las posibilidades que la misma brindaría para, principalmente, las comunicaciones planetarias a través de satélites artificiales ubicados en esa región. La órbita geoestacionaria tiene una excentricidad $e=0$ (una circunferencia), ubicada en el plano del Ecuador a 35.786 km sobre la superficie terrestre; un satélite en esa órbita, moviéndose en el mismo sentido de rotación de la Tierra, tendría un período de traslación exactamente igual al período de rotación de nuestro planeta (1436.07 min, 1 día sidéreo) lo que produce que, visto desde un punto fijo sobre la superficie terrestre, el mismo parezca inmóvil contra el cielo estrellado (de allí su nombre: estacionario con respecto al suelo). Clarke mostró que con sólo tres satélites compartiendo la órbita geoestacionaria, separados por 120° (Figura 01), los mismos iluminarían a la totalidad del globo, brindando cobertura de telecomunicaciones a todo el planeta en tiempo real (Clarke, 1945).

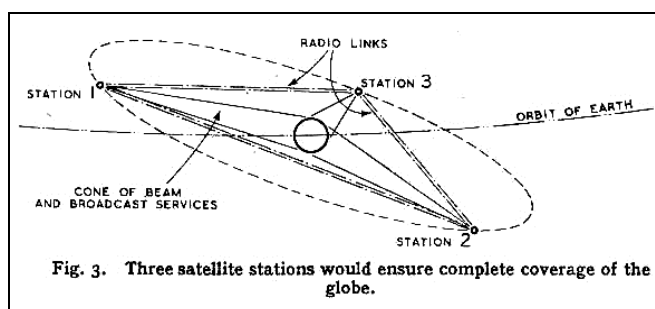


Figura 01: Imagen original del artículo de Clarke de 1945 (op. cit.).

El primer satélite geoestacionario se puso en órbita en 1964. A principios de 2018 existían poco menos de 500 satélites geoestacionarios operativos (Satellite Signals, 2018; LyngSat. 2018), orbitando en una región muy acotada denominada “cinturón geoestacionario” (Figura 2), de los cuales depende gran parte de la vida social actual, globalizada informáticamente: telefonía, internet, redes sociales, televisión, radio, finanzas, transporte, salud, educación, entre muchas otras áreas.

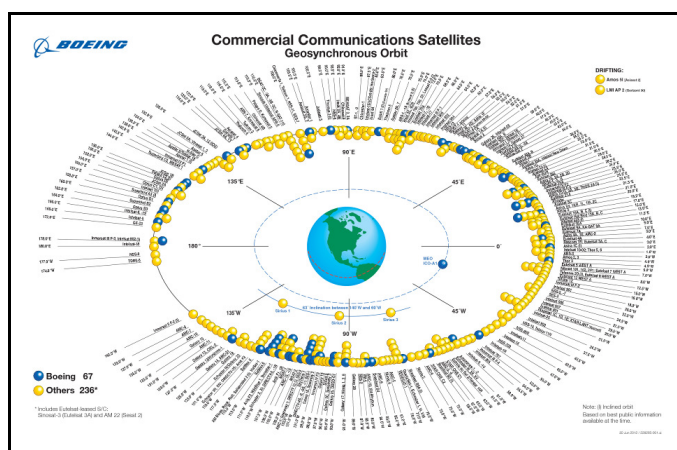


Figura 02: Cinturón geoestacionario (según Boeing, 2012)

Los satélites geoestacionarios no pueden verse a simple vista, debido a que su magnitud visual aparente es de aproximadamente +11 (Taylor, 1982). Por consiguiente, y a pesar de que en el cielo de cada punto de la superficie terrestre existen siempre varios satélites geoestacionarios, es habitual que no tomemos conciencia de su existencia e importancia (los satélites que se ven en movimiento por las noches no son de comunicaciones, tienen órbitas bajas, de pocas decenas de minutos de período orbital, con excentricidades y orientaciones diversas).

Una de las posibilidades para poner en evidencia a los satélites geoestacionarios sobre un determinado lugar es a través de la fotografía y el video. En un caso, tomando una imagen con tiempo de exposición largo y con seguimiento del cielo: los satélites aparecen como trazos (Figura 03) que delinean una estrecha banda, centrada en el Ecuador celeste (King, 2017). En otro caso, tomando una imagen con largo tiempo de exposición, pero con la cámara fija, sin seguimiento, dirigida hacia el sector Norte del cielo, con una inclinación sobre el horizonte que coincida con la co-latitud del lugar de observación ($90^\circ - \text{lat}$); los satélites aparecen como puntos (Figura 04), contra el fondo de trazos estelares (Kunze, 2012).



Figura 03: Trazos de satélites geoestacionarios (tomado de Tafreshi, 2010)



Figura 04: ARSAT 1 (Imagen de la Asociación Entrerriana de Astronomía; ARSAT, 2018)

INTERRUPCIONES SOLARES EQUINOCCIALES

Los satélites geoestacionarios sufren regularmente un fenómeno denominado “solar blackout” (interrupción solar) o también “solar outage” (corte de señal). Este fenómeno se produce dos veces por año, en días cercanos a los equinoccios, y dura unos pocos minutos por día, debiéndose el mismo a la influencia del Sol sobre las antenas receptoras de las señales satelitales, al ubicarse “por detrás” del satélite (o, en otros términos: un tránsito del satélite por delante del Sol).

La “interrupción solar” es producida por la alineación del Sol, con un satélite de telecomunicaciones y con la antena receptora en Tierra (Figura 05). Es un fenómeno electromagnético, que causa una seria perturbación en las señales que se reciben de los satélites de telecomunicaciones, produciendo que por un cierto intervalo de tiempo las transmisiones se vean interrumpidas: si bien la señal del satélite continúa, la relación señal-ruido aumenta fuertemente, reduciéndose la calidad final de la señal disponible (el aumento de energía recibida por las antenas receptoras durante esos minutos puede dañar seriamente al hardware de las mismas, especialmente al detector, como así también al propio plato de la antena, aumentando críticamente la temperatura de los mismos).

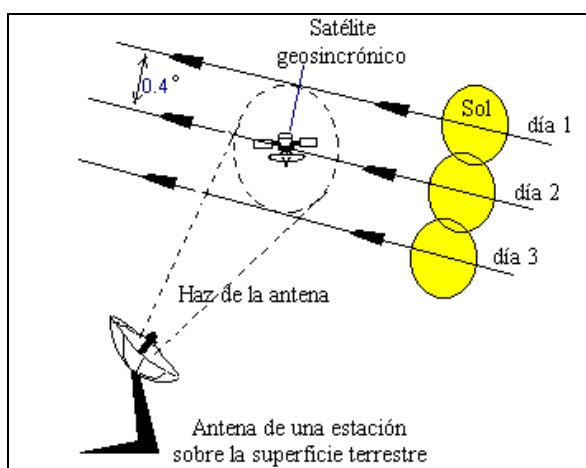


Figura 05: Evolución de una interrupción solar equinoccial (traducido de Kennewell, 1989)

La antena no sólo “ve” al satélite, sino que además “ve” al Sol (ubicado detrás y en la misma dirección que el satélite), recibiendo de éste una muy alta intensidad de energía, lo que produce una saturación de los sistemas de recepción.

Cabe destacar que las interrupciones solares (TrackingSat GPS, 2015) no son producidas por la actividad solar (tormentas solares, máximo del ciclo solar, etc.), ni por la participación conjunta de la Luna, la Tierra y el Sol, como en el caso de los eclipses. Tampoco son un defecto técnico en los equipos de detección, y no son fenómenos impredecibles: son un efecto de la interacción de la Tecnología moderna con el Sol (podrían catalogarse como un fenómeno natural-social).

Alrededor de cada equinoccio (marzo/abril y septiembre/octubre, dependiendo de la latitud geográfica de la antena), el fenómeno dura unos pocos días (típicamente, 5 días), y en cada día, la interrupción se da durante unos pocos minutos (típicamente, 6 min). En el Hemisferio Norte, los cortes se producen a principios de marzo y de octubre; en el Hemisferio Sur, los cortes se producen a principios de septiembre y de abril; los días exactos varían principalmente con la latitud geográfica de la estación receptora.

El intervalo de tiempo dentro de cada día varía principalmente con la posición del satélite en longitud (su posición en el cinturón geostacionario) y de la longitud geográfica de la estación receptora. El cálculo más preciso se logra incluyendo la banda de microondas en que emite el satélite (en general, C, Ku y Ka), el diámetro y tipo de receptor de la antena terrestre (lo que puede “ver” con su “ancho de haz”), y el diámetro aparente del Sol ($\approx 30'$) (Lihua Ma et al, 2018; Sun Outage Predictions, 2018).

OBSERVACIÓN DE UN “SOLAR OUTAGE” EQUINOCCIAL EN ESQUEL

Existe entonces otra forma para poner en evidencia a los satélites geostacionarios que pueblan nuestro cielo local: observar el período de tiempo en que se interrumpe la señal emitida por un canal de televisión local, debido al fenómeno antes descrito.

Durante el ciclo lectivo 2017, un grupo de estudiantes del último año de la secundaria (17 años), fue coordinado por un asesor científico, con el fin de desarrollar un proyecto de investigación, condición necesaria para egresar en la modalidad orientada en Ciencias Naturales (Figura 06).



Figura 06: *Los Autores, durante un día de trabajo en las instalaciones de ETC4.*

El proceso de investigación tuvo distintas etapas, lo que requirió que los estudiantes y el asesor se reunieran en forma sistemática, en la escuela y en otros espacios (hogar, empresa), cuando la evolución del trabajo así lo requería, habitualmente con frecuencia semanal o quincenal: estudio teórico del fenómeno y análisis de la forma de cálculo de los intervalos de tiempo, visitas al canal de televisión ETC4 (empresa que toma la señal satelital y la distribuye por cable coaxial y fibra óptica a toda la ciudad), definición del intervalo de ocurrencia del fenómeno a partir de los programas de cálculo brindados por el Responsable Técnico de la Empresa, observación y registro durante la ocurrencia del mismo, análisis de los datos construidos, elaboración de un trabajo escrito, y una instancia final de “defensa pública” del trabajo realizado ante la comunidad educativa de la Escuela y público (familia, amigos), en noviembre, al cerrar el año académico.

Hipótesis de trabajo

Considerando que los satélites geoestacionarios no pueden verse a simple vista, y que las posibilidades técnicas y de tiempos con las que dispusimos durante el proceso realizado eran muy reducidas, la hipótesis de trabajo fue la siguiente:

“Es posible inferir la existencia de satélites geoestacionarios en el cielo de Esquel, a partir de la observación del corte de señal de televisión recibida por el canal local, durante el período de tiempo calculado en el que ocurrirá el fenómeno de interrupción solar equinoccial”.

Para contrastar tal hipótesis, entonces, son necesarios los siguientes pasos: elegir el satélite que entraría en blackout, calcular el intervalo de tiempo correspondiente (utilizando software específico), y realizar la observación mediante la utilización de los equipos de ETC4 (relación señal-ruido en función del tiempo).

Elección del satélite geoestacionario

El satélite elegido fue el SES 6 (long=40.5°W), que transmite en las bandas de microondas Ku y C (MW bands, 2018). En la banda Ku el satélite ilumina (su “huella”, Figura 07) casi la totalidad de América (Satbeams, 2018), y provee servicio principalmente a los países de América del Sur, en especial Argentina y Brasil.

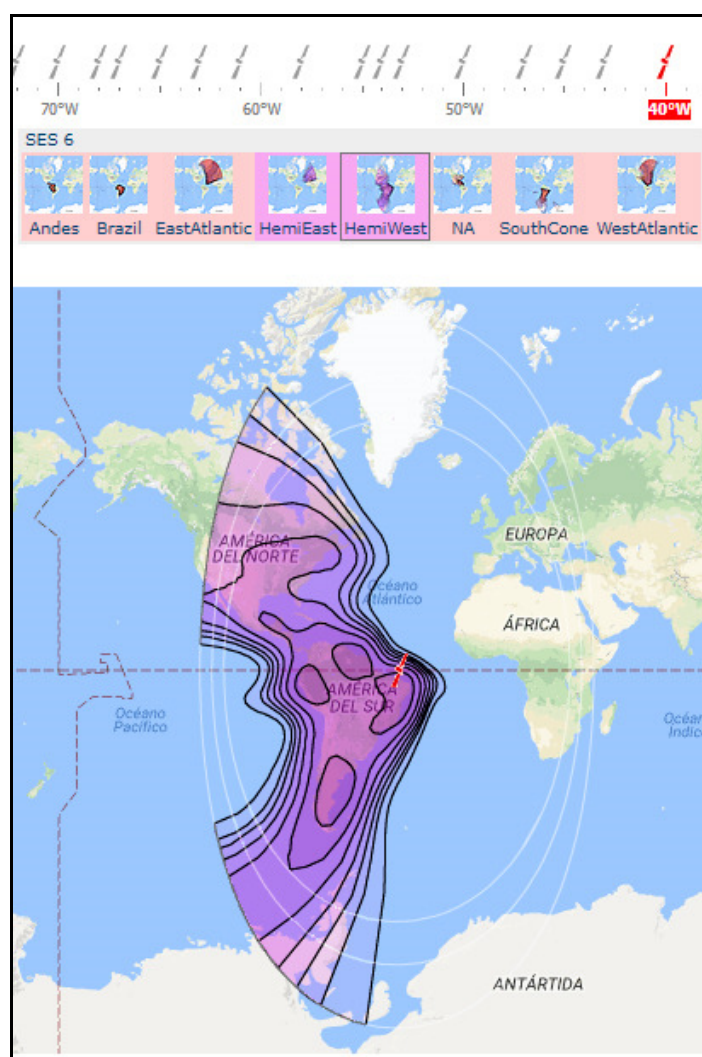


Figura 07: Área iluminada (“huella”) por el satélite SES 6 (Fuente: Satbeams, 2018)

Fundamentos para comprender el cálculo del período de interrupción solar

Para comprender las predicciones de los softwares de cálculo brindados por la Empresa, realizamos los siguientes esquemas, que posibilitan visualizar, imaginar, las condiciones geométricas bajo las cuales se produce el fenómeno bajo estudio en ambos equinoccios. En la Figura 08 se muestra de qué manera varía la fecha en que ocurre el máximo de la interrupción, según la ubicación en latitud de la antena receptora: en Esquel, el fenómeno ocurre los primeros días de abril y los primeros días de septiembre, antes de los equinoccios correspondientes. En la Figura 09 se muestra cómo varía el instante del máximo (antes o después del Mediodía Solar Verdadero) según la ubicación en longitud del satélite que transitará el disco solar.

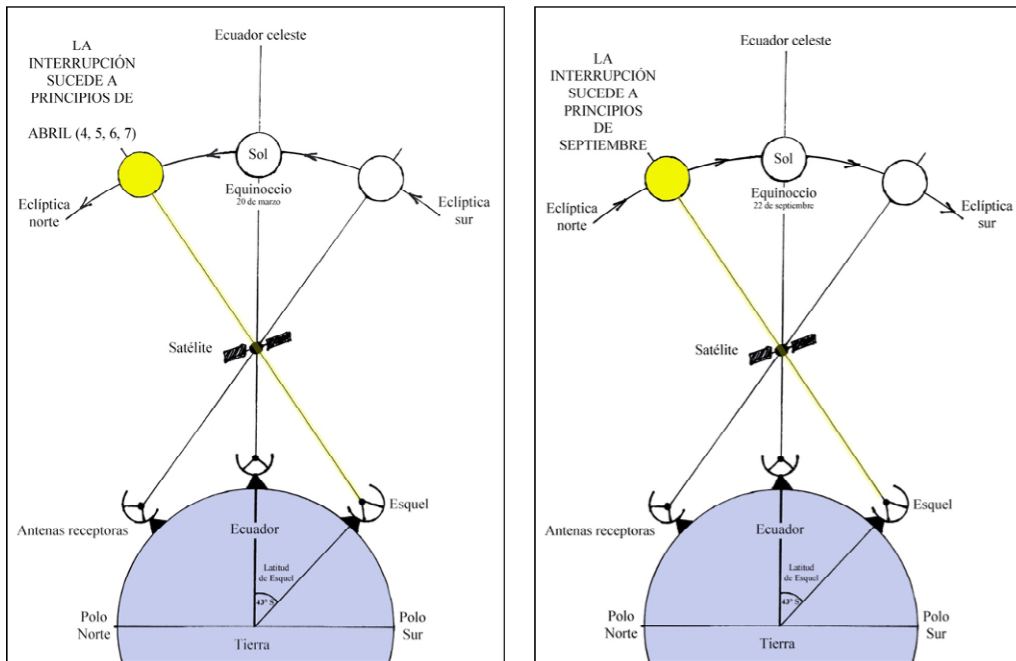


Figura 08: Variación de la fecha de la interrupción con la latitud de la antena receptora.

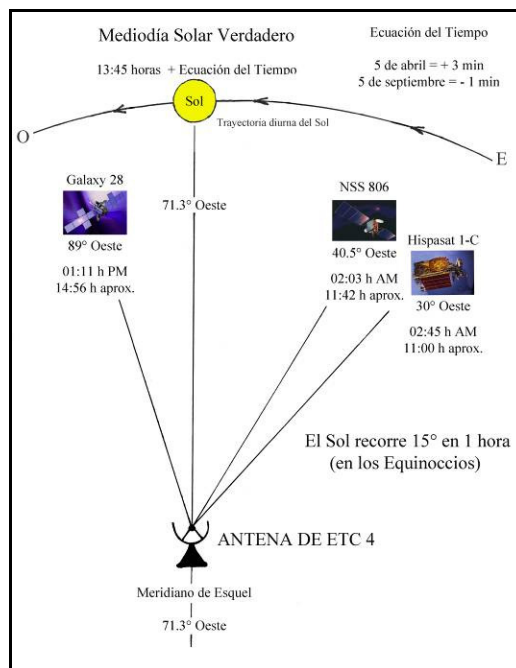


Figura 09: Variación del instante del máximo con la posición en longitud del satélite.

Predicción de la interrupción solar para el equinoccio de septiembre de 2017

A partir del software utilizado por ETC4 (Intelsat Satellite Sun Interference, 2018; SES Sun transit maps, 2018), generamos las predicciones para el máximo en la interrupción solar del satélite SES6 durante los días previos al equinoccio de septiembre de 2017. El máximo sería entre el 5 y 6 de septiembre, en el intervalo 13:24-13:27, aproximadamente (interpolando en la imagen de la Figura 10). Por razones de disponibilidad horaria, la observación fue realizada el día 7 de septiembre (como fue expresado en párrafos anteriores, también es posible observar el fenómeno dos o tres días antes y dos o tres días después del máximo predicho).

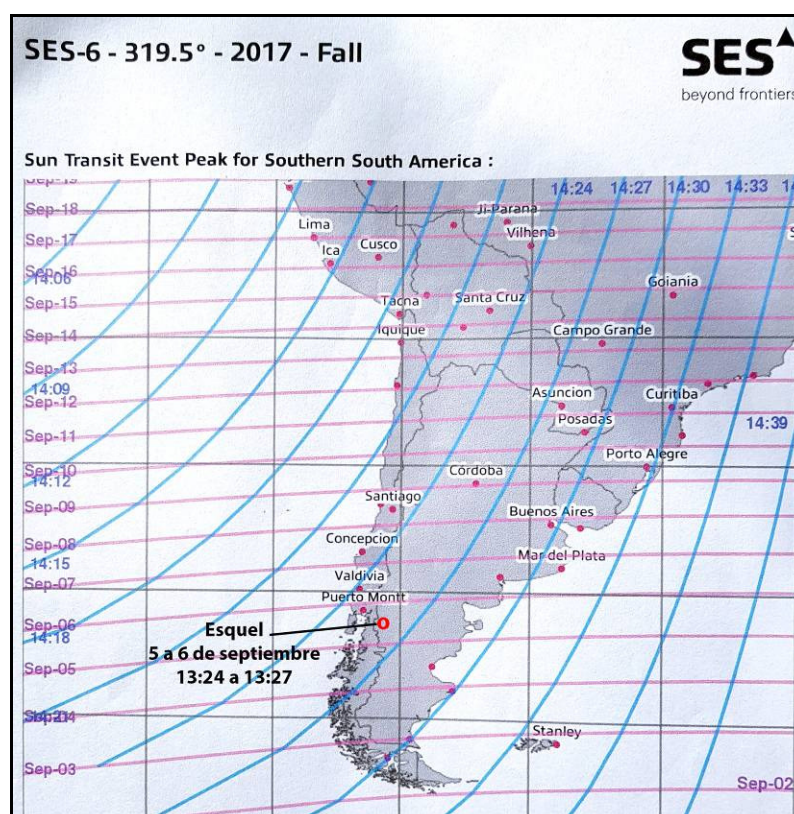


Figura 10: Predicción del máximo del fenómeno estudiado (fuente SES Sun transit maps)

Observación de la interrupción solar equinoccial de septiembre de 2017

Por la mañana del día 7 de septiembre, y con la asistencia permanente del personal técnico de Canal 4, se realizaron las observaciones y registros previstos.

En primer lugar, se instaló una cámara afuera de la sala de equipos, con el fin de registrar el paso de la sombra del receptor por el centro geométrico de la antena: tal efecto corrobora que en ese momento el Sol, el satélite y el receptor están en la misma línea (Figura 11; el video completo puede verse en la página Facebook del Complejo Plaza del Cielo: https://www.facebook.com/pg/Plaza-del-Cielo-633523626711917/videos/?ref=page_internal).

En la sala de equipos se instalaron dos monitores: en uno se registraban las barras de estado de la señal directa del satélite y la relación de calidad (señal-ruido), y en el otro se mostraba uno de los canales, cuya señal provenía del SES6, que se estaba distribuyendo en ese momento a la zona de servicio de la Empresa ETC4. Se registraron los instantes de tiempo, y se filmó todo el proceso en tiempo real (el video completo puede verse en la citada página del Complejo Plaza del Cielo).



Figura 11: La sombra del detector se proyecta sobre el centro geométrico de la antena.

Análisis de los datos recogidos durante la interrupción solar equinoccial

Se esperaba que el fenómeno comenzara aproximadamente cerca de las 11:20 horas, y que durara poco más de 10 min. Poco después de las 11:20 horas comenzó a notarse cómo la relación de calidad de la señal disminuía, haciéndose cada vez más notorio el aumento del ruido proveniente del Sol con relación a la señal pura del satélite. Poco antes del máximo, la imagen del segundo monitor comenzó a “congelarse”, para perder completamente la señal durante el máximo, apareciendo un cartel que indicaba “no signal”. En la Figura 12 se muestran ambos monitores antes de iniciado el fenómeno, durante el máximo, y luego de finalizado.



Figura 12: Monitores de control para visualizar la evolución del fenómeno.

La recuperación de la calidad de la señal siguió un proceso inverso a su disminución, recuperándose gradualmente hasta llegar a la calidad habitual poco después de los 11 min de iniciado el proceso de interrupción solar.

La Figura 13 muestra un gráfico de barras con la variación en la calidad de la señal emitida por el Canal, durante el período en que sucedió el fenómeno.

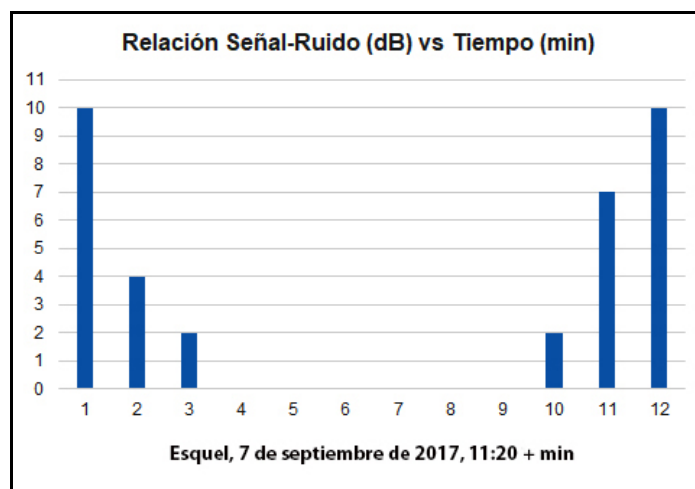


Figura 13: Evolución temporal de la calidad de la señal emitida.

CONCLUSIONES Y COMENTARIO FINAL

Ante todo, cabe resaltar que consideramos que la hipótesis de trabajo planteada ha sido corroborada completamente, al menos en lo que respecta a un proyecto de investigación realizado por estudiantes de nivel secundario, con baja precisión y relativamente poco tiempo de observación del fenómeno estudiado (de hecho, sólo observamos durante el equinoccio de septiembre, ya que durante el equinoccio de marzo las clases en nuestro país recién se están iniciando).

Podemos afirmar entonces que, en el contexto del estudio realizado, y con los presupuestos asumidos (existencia y función de los satélites de telecomunicaciones, concepto de equinoccio, entre otros), hemos puesto en evidencia que en nuestro cielo existen satélites geoestacionarios, los cuales, en ciertos momentos del año muy particulares, dejan de cumplir su función debido a la influencia de la energía lumínica del Sol sobre las antenas detectoras.

Es importante notar que la experiencia realizada tiene una estructura de producción de conocimiento científico muy satisfactoria para estudiantes de nivel secundario en la orientación Ciencias Naturales. El problema de la observación y de la posterior construcción teórica es medular, en especial en Astronomía y en Física: ya sea inferir la posición del Sol en el cielo a través del estudio de la sombra de un gnomon, o la existencia de rayos cósmicos provenientes de una supernova por la detección de fotones en tanques de agua, realizamos afirmaciones de conocimiento a partir de algo que no hemos observado “directamente”, sino que inferimos a partir de asumir muchos postulados y/o conceptualizaciones, no siempre bien explicitados.

Consideramos que el proceso de investigación realizado ha sido de gran valor, no sólo por lo antes expuesto, sino porque ha mostrado la íntima relación entre la Tecnología, la Astronomía y la Sociedad planetaria, en particular porque los estudiantes han comenzado a tomar conciencia de la existencia y función de la red de satélites (geoestacionarios, y muchos otros) sobre la cual hemos construido la civilización actual. Para los adolescentes del Proyecto fue muy difícil imaginar un mundo sin satélites: ¿también lo es para nosotros, educadores no adolescentes?

AGRADECIMIENTOS

Los Autores agradecemos profundamente a Esquel Televisora Color ETC4, y en especial al Sr. Carlos Quinteros, Responsable Técnico de la empresa, por su permanente ayuda y disposición para el desarrollo del presente trabajo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARSAT. **Sistema Satelital Geostacionario Argentino de Telecomunicaciones**. 2018. <http://www.arsat.com.ar/satelites/> Acceso: 25/03/2018.

Tafreshi, Babak (TWAN). Geostationary highway. **APOD** 2010 02 20. <https://apod.nasa.gov/apod/ap100220.html> . Acceso: 25/03/2018.

Taylor, Gordon. Visual observations of geostationary satellites. **Journal of the British Astronomical Association, Geostationary Satellites**. 1982, 92, 5. pp. 216-219.

King, Bob. How to See and Photograph Geosynchronous Satellites. **Sky and Telescope**, 2017, september 20th. <http://www.skyandtelescope.com/observing/how-to-see-and-photograph-geosynchronous-satellites/>

Boeing. **Geo-Belt** (a 2012). <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Boeing%20Sat%20map.pdf> Acceso: 25/03/2018.

Intelsat Satellite Sun Interference. <http://www.intelsat.com/tools-resources/library/satellite-101/satellite-sun-interference/> Acceso: 25/03/2018.

SES beyond frontiers. **Sun transit maps**: <https://extranet.ses.com/SunTransitMaps/> Acceso: 25/03/2018.

Sun Outage/**Sun Interference Prediction for Geostationary Orbit Satellites**. <https://www.satellite-calculations.com/Satellite/suninterference.php> . Acceso: 25/03/2018.

Trackingsat GPS. 2015. <http://www.geosats.com/solaroutages.html> Acceso: 25/03/2018.

Clarke, Arthur. 1945. "Extra-terrestrial relays. Can rocket stations give world-wide radio coverage?". **Wireless World. Radio and Electronics**. Vol. II, N°10, pp. 305-308. <http://lakdiva.org/clarke/1945ww/> Acceso: 25/03/2018.

Satbeams, 2018. **"Huella" de los satélites**. <https://www.satbeams.com/footprints?beam=5505> Acceso: 25/03/2018.

Microwave bands. 2018. <https://en.wikipedia.org/wiki/Microwave> Acceso: 25/03/2018.

LyngSat. 2018. <https://www.lyngsat.com/NSS-806.html> Acceso: 25/03/2018.

Kennewell, John. Solar radio interference to satellite downlinks. **Australian Space Academy**. 2017. <http://www.spaceacademy.net.au/spacelink/solrfi/solrfi.htm> Acceso: 25/03/2018.

Kunze, Michael. Satélites geoestacionarios sobre los Alpes. **APOD** 2012 04 12. <https://apod.nasa.gov/apod/ap120411.html> . Acceso: 25/03/2018.

Satellite Signals. **Listado de satélites geoestacionarios** (a enero de 2018). <http://www.satsig.net/sslist.htm> Acceso: 25/03/2018.

Lihua Ma, Chao Hu, Jun Pei, Xinghua Ma & Yanben Han. A novel model for predicting Sun outage in satellite communication. **Earth Science Res.**, 7 1; 2018.