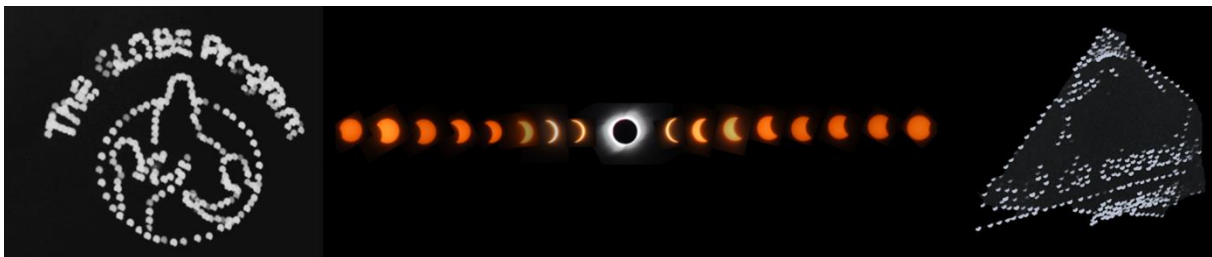


# Effect of total sun eclipse on meteorology and cosmic ray flow

Marianela Pepe, Lucio Martínez and Juan Wehinger  
Ana Beatriz Prieto  
Science Club Huechulafquen  
Argentina  
March 2021



**Abstract:**

After 967 years, on 12/14/2020 a total solar eclipse occurred in Junín de los Andes. The path of totality crossed areas with low population density in Chilean and Argentine Patagonia. The measurements were concentrated in Andes Mountains.

The research questions were: What changes occur on the earth's surface during a total solar eclipse in luminosity, temperature, atmospheric pressure, winds, and cosmic radiation? How much does cloud cover influence?

In the city, records of luminosity, air, surface and ground temperatures were taken. GLOBE Observer was used for air and cloud temperatures; the Cosmic-Watch detector for cosmic ray flux. Atmospheric pressure and wind speed were obtained from a nearby weather station.

For the eclipse path, records were obtained from nearby meteorological stations (SMN, SIGA / INTA, Wunderground), and GOES-16 satellite images of temperature and cloud cover.

In the city the luminosity and surface temperature decreased during the totality, the air temperature decreased minutes later. Soil temperature and cosmic ray flux were unchanged. Cloud cover was low. The atmospheric pressure decreased and the wind speed increased, although it cannot be attributed solely to the eclipse.

Much of the eclipse path had cloud cover, in some locations it prevented the observation of the phenomenon. In nearby areas there was a decrease in air temperature after totality.

The minutes of totality produced great changes in the earth's surface, mainly in luminosity, air and surface temperature. It is recommended in the future to carry out citizen participation campaigns to study in detail the meteorology of eclipses.

*Key words:* Eclipse 2020, Eclipse Meteorology, GLOBE Observer Eclipse, Cosmic Rays.

**Table of contents**

Abstract: .....	1
Research Question and Hypothesis: .....	1
Introduction and Review of Literature: .....	3
Research Methods and Materials: .....	6
Results: .....	8
Discussion: .....	15
Conclusion: .....	16
Bibliography: .....	17
Acknowledgment: .....	21
Badge Descriptions/Justifications: .....	21

**Research Question and Hypothesis:**

On December 14, 2020, a total eclipse of the sun occurred. (NASA, 2021; Carlowicz M, 2020). It was a memorable event, which we were able to observe from our own homes. In addition, this eclipse was visible in much of South America. (Figure 6).

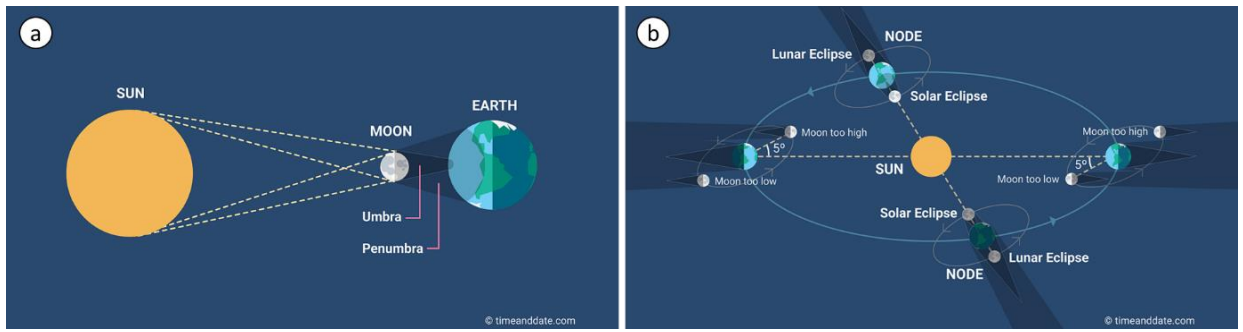


Figure 1. Total eclipse of the sun. a) Sun, Moon and Earth lined up. b) Lunar nodes where the Moon crosses the Earth's orbital plane. (Timeanddate.com, 2021b)

Eclipses are sporadic phenomena that occur when a perfect alignment occurs between the Sun, Moon, and Earth. This alignment is rare because the moon's orbit is inclined at an angle of 5 degrees to the Earth orbit. This type of phenomenon arouses interest in the population in addition to attracting tourism (Araya-Pizarro, 2020).

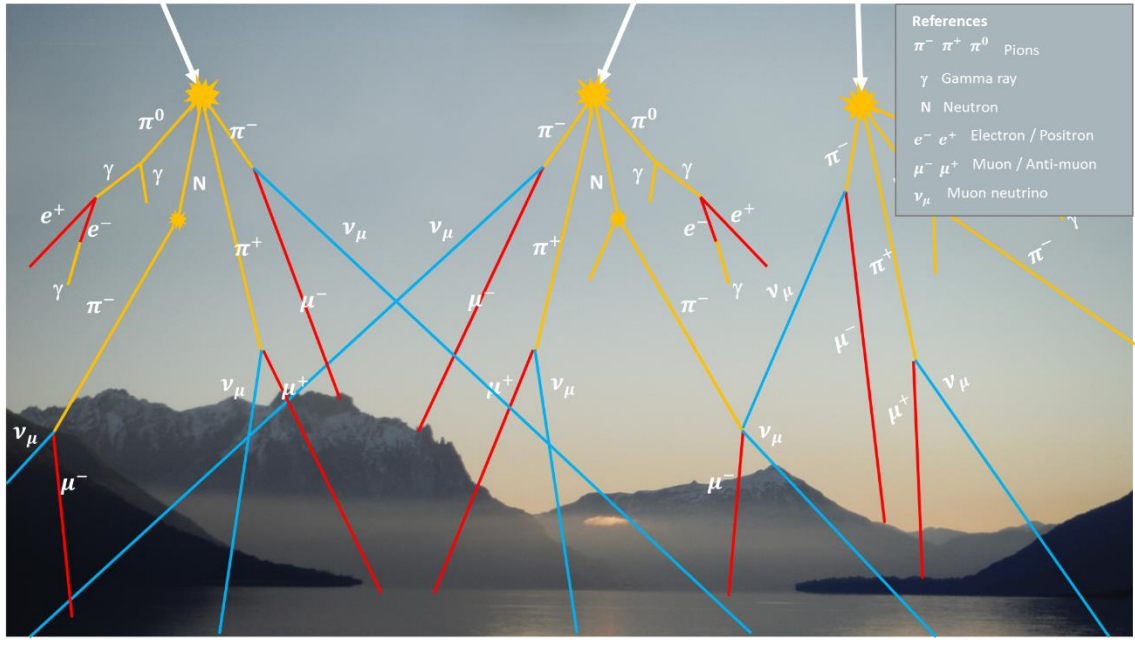


Figure 2. Scheme of the cosmic ray "showers" on the Earth's surface. Background photo: Lake Tromen, its own source. Secondary cosmic ray cascade diagram (Kaya, & Atakisi, 2021).

But eclipses also provide a rare opportunity that scientists take advantage of to conduct research in multiple scientific areas that could not be performed otherwise (Gerasopoulos, et al, 2008). For example, the total eclipse of the sun of August 21, 2017 helped test predictive models of the solar corona (Mikić, et al, 2018) and the total eclipse of the sun of May 29, 1919 helped experimentally verify Einstein's theory of relativity. (Dyson, et al, 1920).

In a total eclipse of the Sun, the Moon crosses in front of the Sun casting its shadow on Earth for a few minutes. This causes alterations in the luminosity, wind temperature, pressure and chemistry of the atmosphere (Aplin, et al., 2016; Dodson, et al, 2019), pollutant movement

(Pakkattil, et al., 2020) with different response according to different ecosystems (Wood, et al., 2019, Penaloza-Murillo, et al., 2020).

The Sun also emits low-energy cosmic rays, although most cosmic rays reach from multiple directions of space and even some pass-through Earth. Most of these particles are usually protons from other close enough galaxies or supernova explosions, which expel large amounts of charged particles. Some particles can be very energetic. When a particle reaches the atmosphere, it collides with others producing many secondary particles that share the same energy as the original primary particle. These primary particles also collide with air molecules producing billions of particles, some disintegrate rapidly, and others reach the Earth's surface. (Benitez de Lugo, 2011; CONICET, 2021; Kaya, & Atakisi, 2021; ITeDA, 2021; Observatorio Pierre Auger, 2021).

Investigating when total eclipses of the Sun occur is interesting because it is a natural experiment, that we do not have the ability to replicate it by casting shadow on the Earth in such a large area. During an eclipse some environmental conditions change for a few minutes and allows us to know the influence of the Sun on Earth.

#### *Research Questions:*

- What changes occur on the Earth's surface during a total eclipse of the sun?
  - How much do luminosity, temperature, atmospheric pressure, winds and cosmic radiation change on the Earth's surface?
  - How much does cloud cover influence?

#### *Hypothesis:*

H<sub>1</sub>: During a total eclipse of the sun there are changes in luminosity, temperature, atmospheric pressure and winds.

H<sub>2</sub>: The flux of cosmic rays that reaches the earth's surface decreases because some come from the Sun.







H<sub>3</sub>: Cloud coverage attenuates changes in temperature and luminosity on the Earth's surface.

#### **Introduction and Review of Literature:**

The first total eclipse of the sun recorded in Argentina occurred the year after independence, on March 24, 1811 (Paloantonio, 2021). During the XIX century, in Argentina, 7 total eclipses of the sun were observed (years: 1811, 1833, 1835, 1837, 1846, 1880 and 1891), in the XX century 9 eclipses (years: 1904, 1908, 1921, 1930, 1947, 1966, 1992 and 1994) and in the XXI century 3 eclipses (years: 2010, 2019 and 2020). (NASA Eclipse, 2021)

In the last eclipse, the city of Junín de los Andes was on the path of totality (Jubier, 2021) that occurred at 1:04 p.m. and it was possible to observe it from anywhere in the city. Eclipses are rarely repeated in the same place. For example, in Junín de los Andes, 6 eclipses have been visible in the last 200 years (Table 1).

Table 1. Total eclipses of the sun in Junín de los Andes since year 0. Elaboration from data from Nasa Eclipse, 2021.

Date	Duration of Totality	Magnitude	Maximum eclipse (local time)	Map	Link
2020/12/14	1m 02.3s	1.002	13:06		<a href="https://go.nasa.gov/2Nninlo">https://go.nasa.gov/2Nninlo</a>
1053/05/20	4m 37.7s	1.024	12:15		<a href="https://go.nasa.gov/2NMIodI">https://go.nasa.gov/2NMIodI</a>
0837/01/10	2m 50.1s	1.017	11:19		<a href="https://go.nasa.gov/3kbzaUc">https://go.nasa.gov/3kbzaUc</a>
0778/03/03	1m 11.8s	1.009	18:51		<a href="https://go.nasa.gov/3un0CmN">https://go.nasa.gov/3un0CmN</a>
0288/01/20	1m 58.8s	1.005	15:43		<a href="https://go.nasa.gov/3pJ0oCQ">https://go.nasa.gov/3pJ0oCQ</a>
0051/03/30	4m 20.0s	1.028	15:43		<a href="https://go.nasa.gov/3kdUMiR">https://go.nasa.gov/3kdUMiR</a>

Considering the interest of eclipses in society, The GLOBE Program (Finarelli, 1998) launched a citizen science application GLOBE Observer (Amos, et al, 2020) inviting to report measurements of temperature and clouds during the eclipse of 2017 in the United States. This same application is routinely used around the world to report measurements of clouds, land cover, mosquito habitat, and trees. The eclipse application is activated especially for these events. It was also used in the 2019 and 2020 eclipses in South America.

To spread the eclipse and inform society and educational communities, many institutions conducted campaigns. The GLOBE Program launched a series of seminars on the subject (The GLOBE Program, 2021a), the National University of Comahue held a course and a series of talks (UNCo/FAIN - Department of Physics, 2020) and other organizations disseminated information material in different formats (IAU, 2021; Paolantonio and Camino, 2020; Planetario Galileo Galilei. Buenos Aires, 2020; Ros and García, 2017).

During eclipses, there is an abrupt disturbance of solar radiation for a few minutes in a very different way to day and night cycles (Pérez Fogwill, et al, 2020). This phenomenon provides the opportunity to study the Earth-Sun connection in a different way than usual studies. For example, the 2017 eclipse crossed highly populated areas of the United States and had a significant participation of citizen scientists who recorded changes in temperature, type and cloud cover. With these data and the contribution of other sources, it was found that the temperature difference caused by the eclipse was reduced by half in the areas with cloud cover. In other words, the clouds attenuated the effect of the eclipse by approximately half the value of clear conditions (Dodson, et al, 2019).

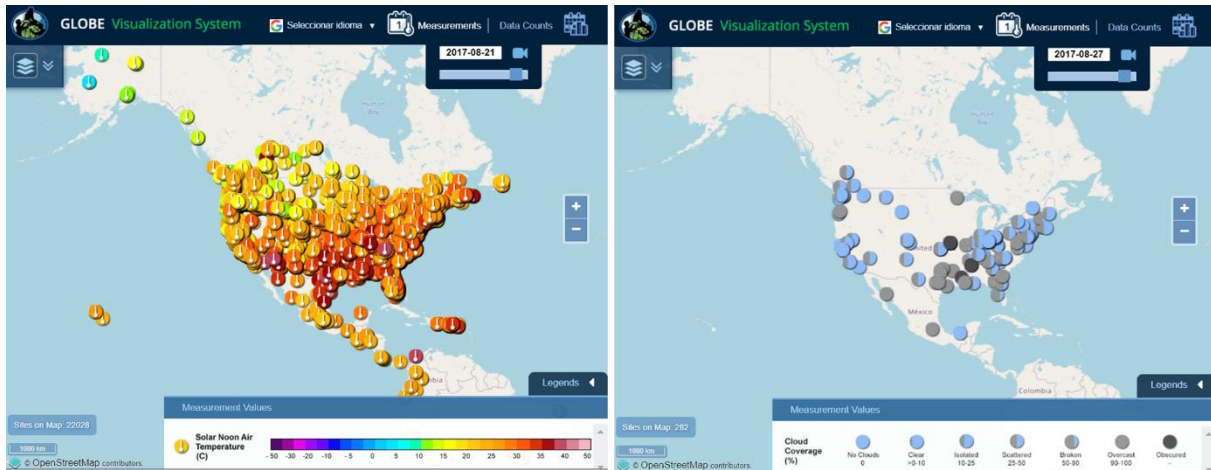


Figure 3. Solar eclipse, August 21, 2017 in the United States. Records of air temperature (left) and cloud cover (right) taken by GLOBE Program students and teachers and citizen scientists. The path of the eclipse passed through densely populated areas. (The GLOBE Program, 2021b)

In the eclipse of July 2, 2019, the maximum blackout occurred at 5:30 p.m. local time and in winter. For this reason, temperatures and luminosity increased shortly after totality. In some areas the percentage of cloud cover was high and made it difficult to observe the eclipse.

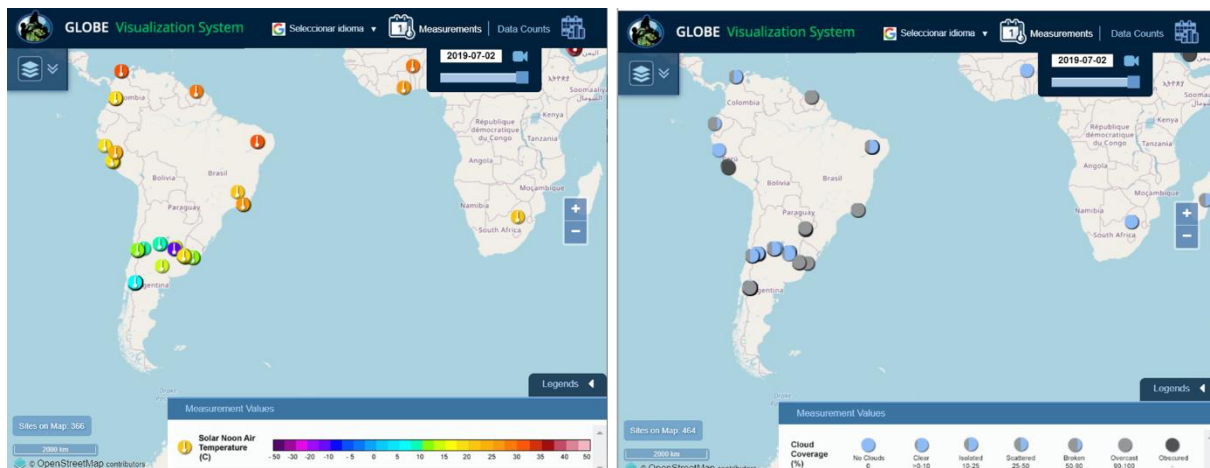


Figure 4. Solar eclipse, July 2, 2019 in Argentina and Chile. Records air temperature (left) and cloud cover (right) reported registered by students and teachers from the GLOBE Program and citizen scientists. (The GLOBE Program, 2021b)

From Junín de los Andes this eclipse was partially observed with 75% shade. The air temperature slightly decreased slightly during maximum blackout and then increased slightly coinciding with the late afternoon. The surface temperature and luminosity increased after the maximum. (Figure 5). The cloud cover was 25% and allowed to observe the phenomenon.



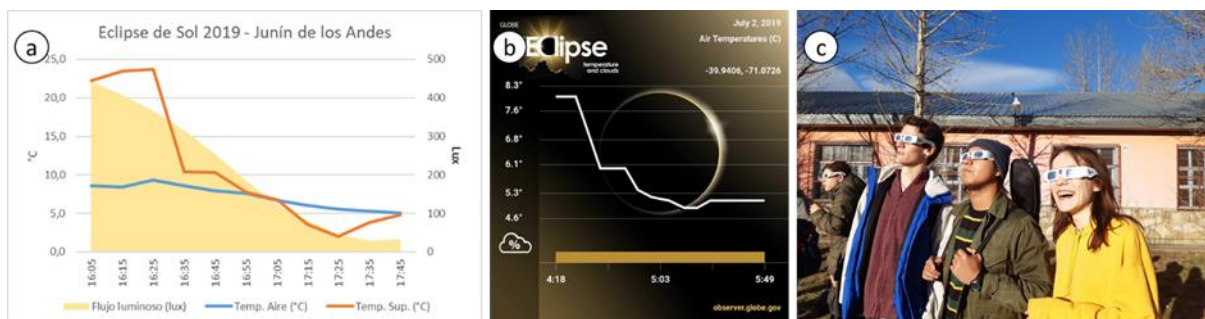


Figure 5. Total solar eclipse, July 2, 2019 (partial in Junín de los Andes). a) Changes in luminosity and b) temperatures (air and surface). The decrease in surface temperature is more marked, while the air temperature decreases very little. c) Members of the Huechulafquen Science Club observing the eclipse.

The eclipse is also an opportunity to study the flow of cosmic rays that reach the Earth's surface. In some eclipses a decrease in the flux of secondary cosmic rays has been recorded (Bhaskar, et al, 2010; Nayak, et al, 2008; Raghav, et al, 2015; Kandemir, et al, 2000), while in other eclipses no significant differences were found (Bennett, 2016; Adams, et al, 2019).

Many schools and science clubs around the world have cosmic ray detectors that have been distributed by QuarkNet programs (Adams, et al, 2019), by MIT (Rosnes & Bellis 2020; Axani, et al., 2018) and by 宇宙線探究活動 探Qって? [Cosmic ray exploration activity What is exploration Q?] (Tanaka, 2021) to introduce students to the topic.

The QuarkNet program organized the measurement of cosmic ray flux by schools during the 2017 eclipse. Several institutions participated in this measurement, but did not detect differences in the flux of muons reaching the Earth's surface (Adams, et al, 2019)

### Research Methods and Materials:

The eclipse event was observed from the city of Junín de los Andes, 776 meters above sea level, located on the route of the eclipse (Figure 6). It is a transitional steppe zone between the forest to the West, in the Andes Mountains, and the Patagonian steppe to the East.

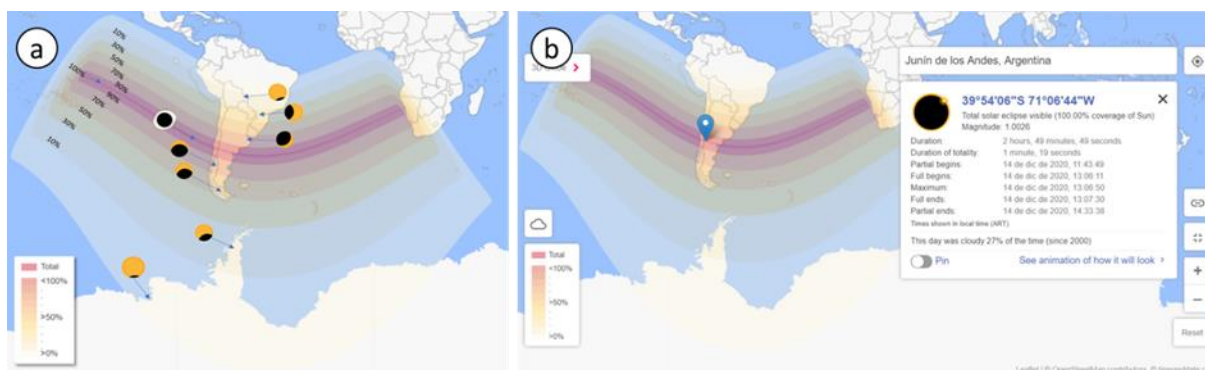


Figure 6. a) Path of the eclipse and total and partial coverage. b) Location of Junín de los Andes. Base map (Timeanddate.com 2021a).

The average temperature in December is 20°C (Minimum of 9°C and Maximum 29°C), rainfall of 23 mm (with 23.9 dry days) and cloud cover is 4.9 cloudy days, 15.4 partly cloudy days and 10.7 sunny days. The prevailing winds are from the West and followed by winds from the West-North-

West. Wind speed in December is >38 km/h (2.1 days), >28 km/h (11.1 days), >19 km/h (12.3 days), >12 km/h (4.6 days) (Meteoblue, 2021).

Measurements were made with cell phone applications using a Samsung Galaxy A30 phone with a light sensor type TCS3701. For the luminosity measurements, the Phyphox app (Physical Phone Experiments <https://phyphox.org/>) and the Eclipse Calculator 2.0 app <https://serviastro.ub.edu/es/materiales/aplicaciones/eclipsi-20> were used to know the exact moment of the totality of the eclipse according to the location.

The air temperature was taken with an alcohol thermometer and a mercury thermometer (with maximum and minimum). PASCO (Wireless Temperature Sensor PS-3201) sensors were also used to record air and soil temperatures and a Sinometer GM320 Digital Infrared Thermometer for surface temperature.

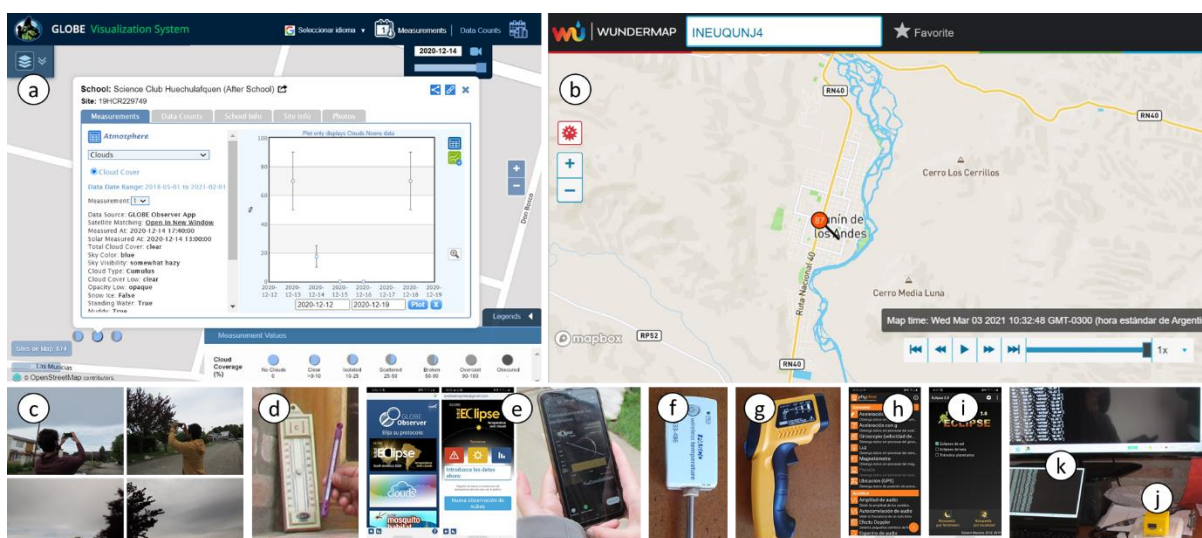


Figure 7. Equipment and websites used. a) GLOBE Visualization System, b) Weather station near the measurement site, c) cloud recording with GLOBE Observer app, d) maximum and minimum thermometers (left) and alcohol (right), e) GLOBE Observer Eclipse app, f) PASCO temperature sensor, g) digital infrared thermometer, h) Phyphox app, i) Eclipse 2.0 app, j) Cosmic Watch cosmic ray detector and k) cosmic ray display and recording.

The GLOBE Observer Eclipse app <https://observer.globe.gov/es/do-globe-observer/eclipse> was used to manually record air temperature, type and cloud cover.

The Cosmic Watch detector <http://www.cosmicwatch.lns.mit.edu/detector#components> provided by the program 宇宙線探究活動 探Qって? [Cosmic ray exploration activity What is exploration Q?]. Was used to record the cosmic ray flow. The atmospheric pressure and wind data were obtained from the nearest meteorological station located in the city of Junín de los Andes <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/INEUQUNJ4>

All measurements were made in the pre-eclipse periods (December 13th), the eclipse day (December 14th) and post-eclipse (December 15th) from the beginning to the end of the eclipse (from 11:30 at 3 pm - local time).

The path of the eclipse crossed areas with low population density, particularly in the Patagonian steppe, for this reason the GLOBE Observer measurements were concentrated in the area of totality in the localities near the Los Andes mountain range. In the central Patagonian steppe,



there are few meteorological stations. Data were taken from meteorological stations of the National Meteorological Service (SMN, 2021), SIGA/INTA (INTA, 2021) and the Wunderground Network (Wunderground, 2021b). GOES 16 satellite images were also used for temperature and cloud cover data (Modelo experimental WRF, 2021).

## Results:

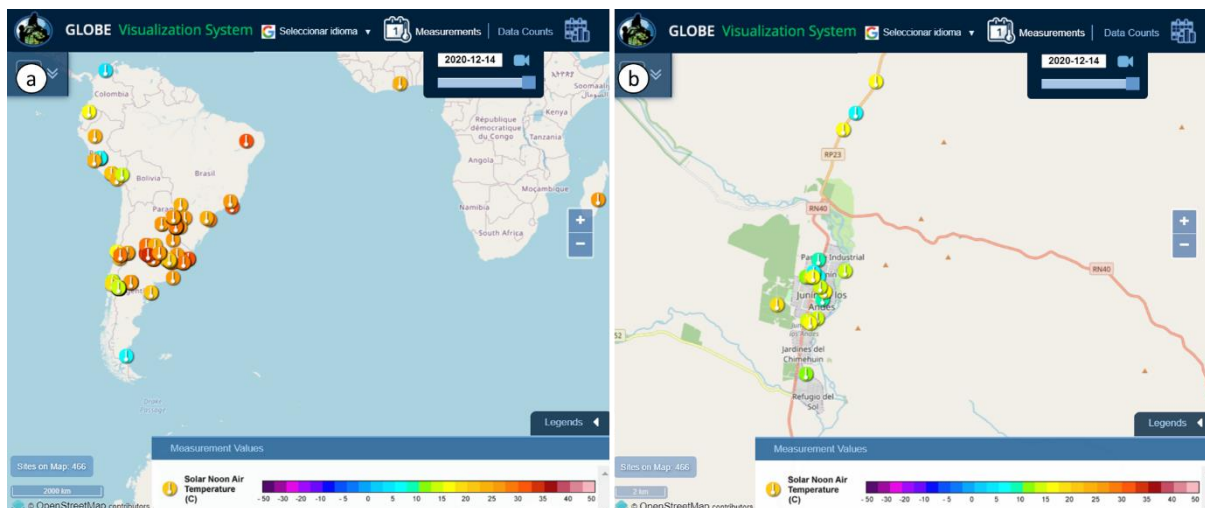


Figure 8. Total solar eclipse December 14, 2020. Air temperature data reported through the GLOBE Observer app. a) Data in South America and b) data in Junín de los Andes and nearby areas. (The GLOBE Program, 2021b)

Many students, teachers and citizen scientists reported data during the eclipse of December 14, 2020. The low population density of the Patagonia region influenced the number of data. Most were concentrated in the cities near the Andes mountain range.

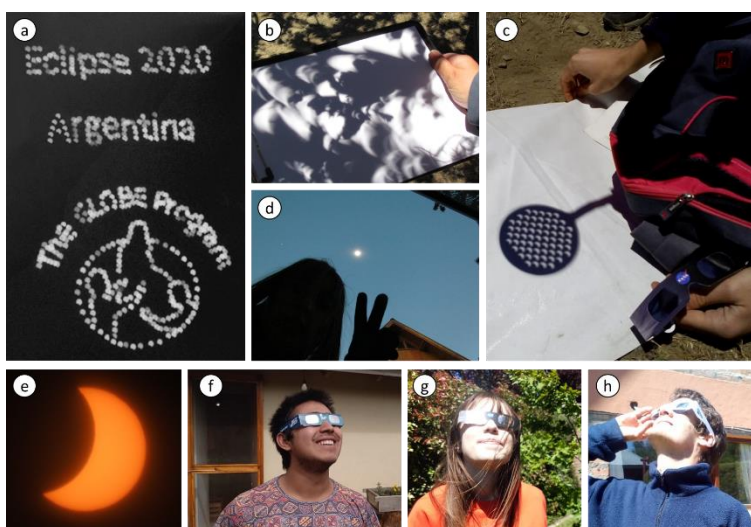


Figure 9. Observation of the total solar eclipse on December 14, 2020 in Junín de los Andes, Argentina. a) projection of the shadow of the eclipse with a perforated paper with the logo of the GLOBE Program, b) natural projection of the eclipse generated by the leaves of the trees, c) projection with a kitchen skimmer,

d) selfie at the time of the totality, e) photo taken with a reflex camera, f) g) and h) members of the Huechulafquen Science Club observing the eclipse with certified lenses.

Many measurements were concentrated on the path of the 2019 eclipse. In the city of Junín de los Andes the measurements were concentrated in the center of the city; others are spread along the routes because part of the population moved to other sites to observe better.

The eclipse could be observed directly with special lenses or through shadow projections (Figure 9).



Figure 10. Results of the registrations with the GLOBE Observer app on December 13, 14 and 15, 2020 in Junín de los Andes.

On December 13, during the recording hours, the cloud cover was 90-100% and almost at the end of the recording it was reduced by 25-50%. This caused the decrease in air temperature, which increased as cloud cover decreased. On December 14, the cloud cover was 10-25% and did not cover the sun. The decrease in air temperature of 5°C was produced by the effect of the eclipse. On December 15, no clouds were recorded, the air temperature increased progressively throughout the measurement period.

The day before the eclipse, the luminosity decreased due to the effect of cloud cover (Figures 10 and 11), influencing the decrease in air temperature. The surface temperature also decreased but less than that of the air. Soil temperature was not affected by the change in cloud cover.

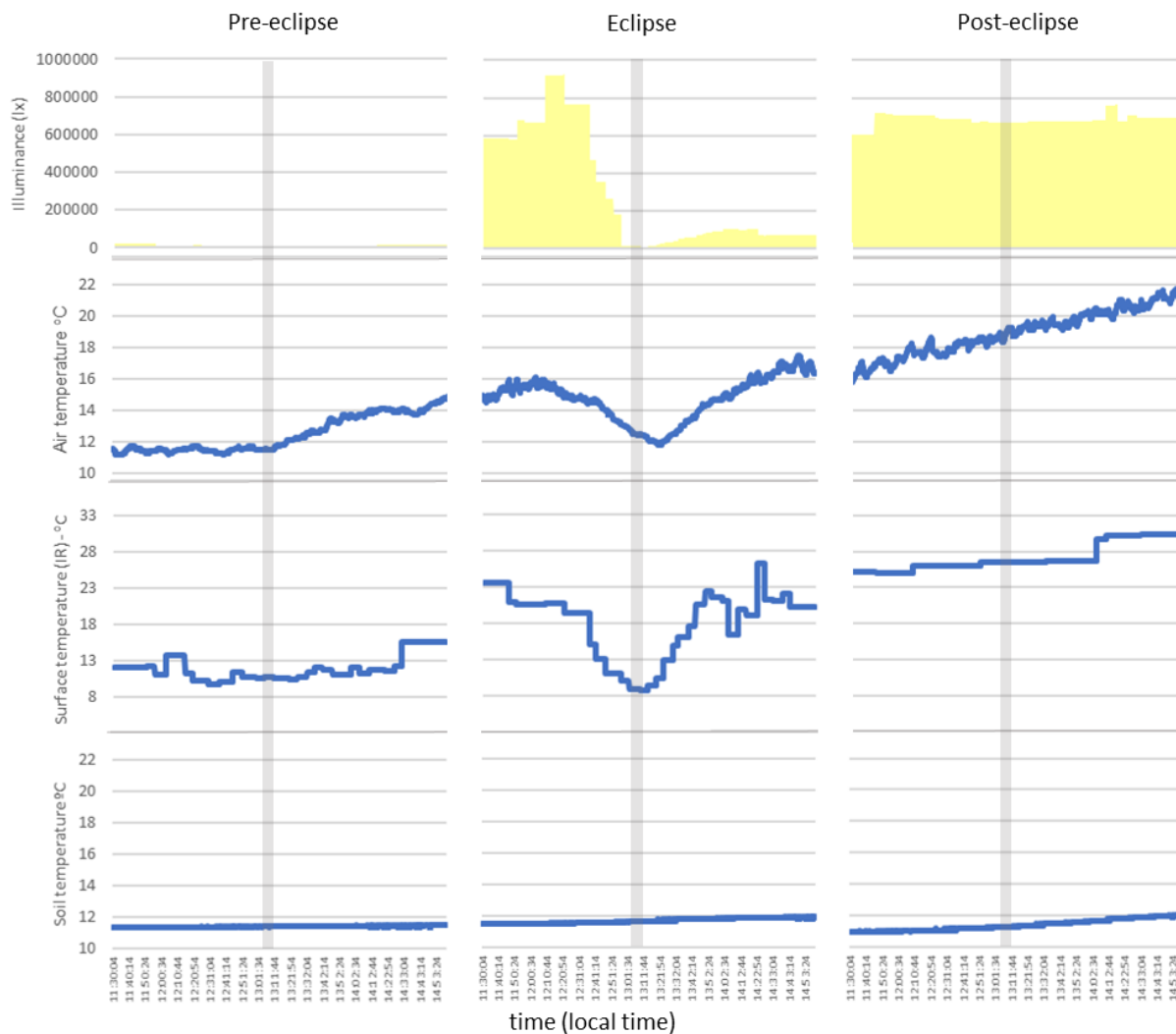


Figure 11. Luminosity and air, surface and soil temperatures in Junín de los Andes. The gray bar indicates the time of totality to compare the eclipse with the days before and after the eclipse.

On the day of the eclipse during totality a rapid decrease in luminosity is observed. The surface temperature decreases rapidly coinciding with the luminosity, while the air temperature registers its minimum values a few minutes after totality. Soil temperature was affected by the eclipse. (Figure 11)

The day after the eclipse small variations in luminosity were recorded due to the absence of clouds. Air and surface temperatures increased progressively during the recording period. Soil temperature had a small increase during the recording period. (Figure 11)

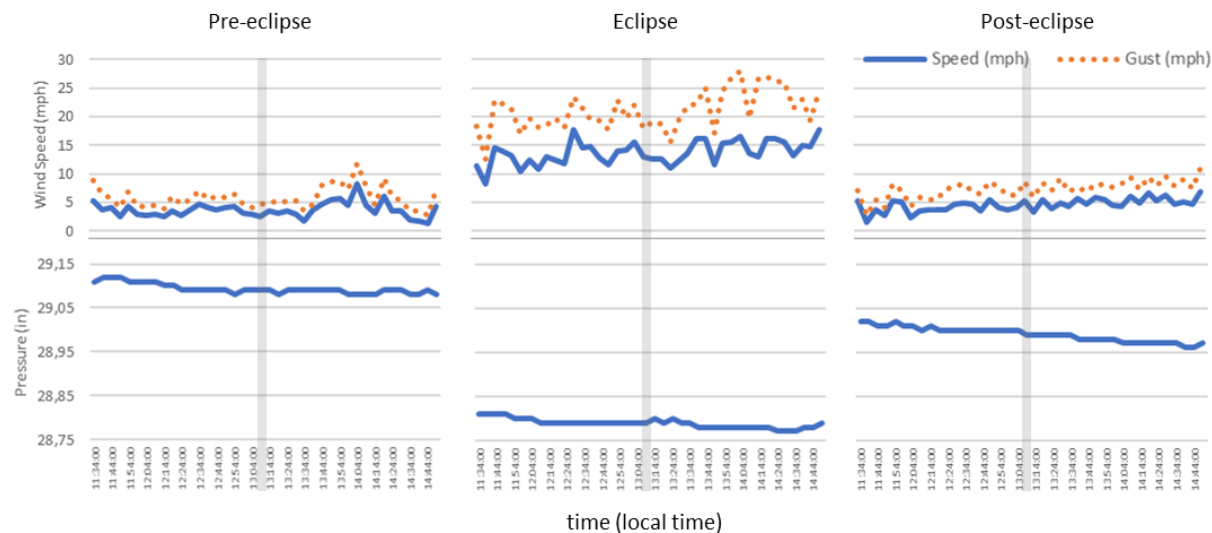


Figure 12. Wind speed, maximum gusts and atmospheric pressure, in Junín de los Andes, recorded before, during and after the eclipse. The gray bar indicates the moment of totality. Nearby weather station data. (Wunderground, 2021a).

Wind speeds and gusts were low the day before the eclipse. The atmospheric pressure was stable. On the day of the eclipse, the atmospheric pressure was lower than the days before and after the eclipse. Wind speeds ranged from 10 to 18 mph (meters per hour) but gusts were high especially after totality with maximums near 30 mph. The day after the eclipse the atmospheric pressure was higher and the wind speed decreased. (Figure 12)

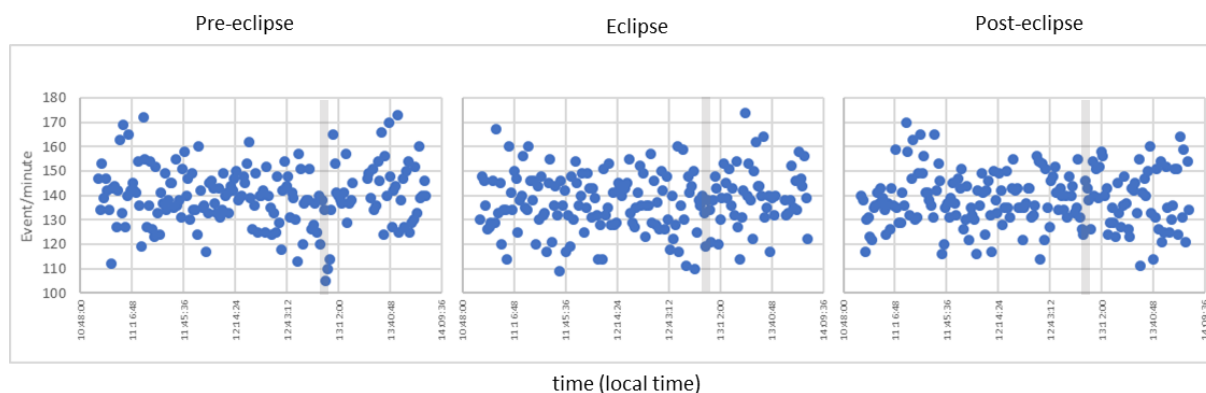


Figure 13. Cosmic ray flux in Junín de los Andes, recorded before, during and after the eclipse. The gray bar indicates the totality of the eclipse.

Cosmic ray flux on the Earth's surface was stable during the recorded time. There are no differences due to the effect of the eclipse and neither in the days before and after the eclipse. (Figure 13 and 14)

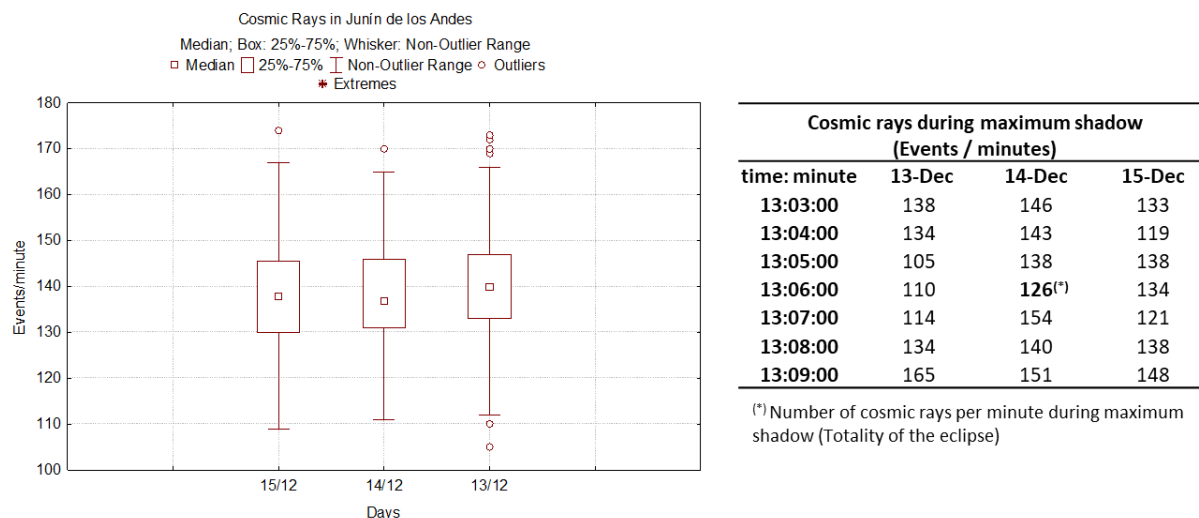


Figure 14. Comparison of cosmic ray flux before, during and after the eclipse in Junín de los Andes. Average values (left) and table with the variation from 13:03 to 13:09 local time. The cosmic ray flux during totality is pointed out.

Median values for cosmic ray flux are similar in pre- and post-eclipse. On the 13th some minimum and maximum outliers are registered. In the minutes around the totality there were also no variations in the cosmic ray flux. (Figure 14)

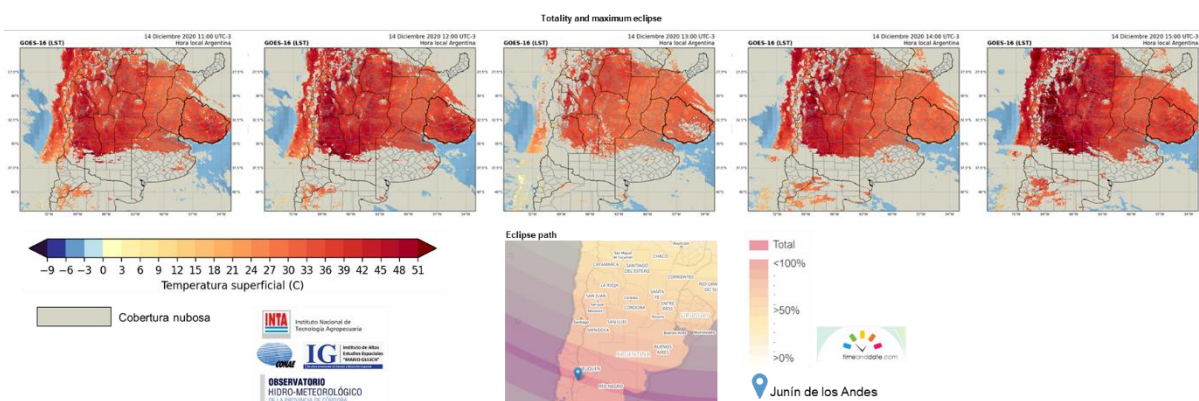


Figure 15. Air temperature and cloud cover (Modelo experimental WRF, 2021) and the eclipse path (Timeanddate.com, 2021a).

The path of the eclipse was covered with clouds from 11 a.m. to 3 p.m. (local time). In many localities it prevented the observation of the phenomenon or it was partially observed. In the GOES-16 images, a decrease in temperature is observed with a minimum at 1:00 p.m. coinciding with the totality and then an increase in the following images. (Figure 15)

Due to the low population density in the area there are few records taken in the field. Weather stations in cities near the eclipse path were accessed, but the frequency of records is different (with variations from one record per hour to one record every 5 minutes).



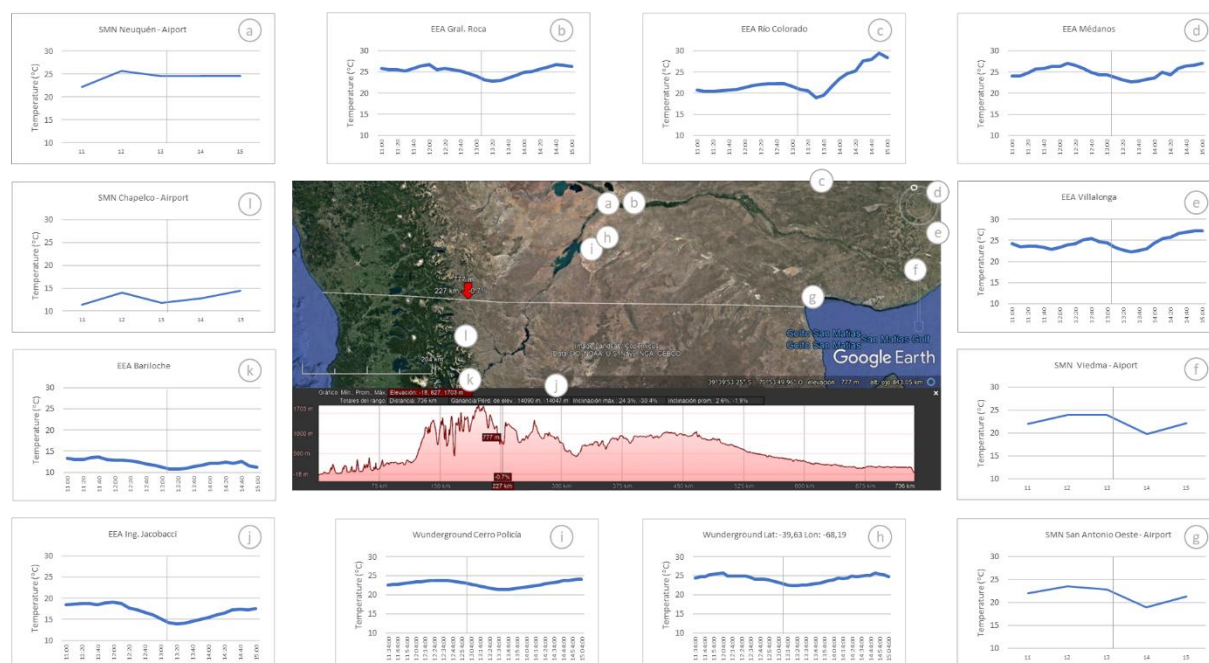


Figure 16. Terrain elevation profile on the path of the eclipse made with Google Earth. Graphs of air temperature in nearby locations during the eclipse. The lines indicate the time of the totality of the eclipse. Sources: SMN Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2021), EEA - Estación Meteorológica Automática SIGA (INTA, 2021) and Wunderground (Wunderground, 2021b).

The air temperature decreased a few minutes after totality in the localities near the eclipse path. (Figure 16). The difference in the decrease in temperature could be influenced by cloud cover, being less in the areas with greater coverage at 1:00 p.m. (local time) when compared with the GOES-16 image at 1 pm (local time). (Figure 15)

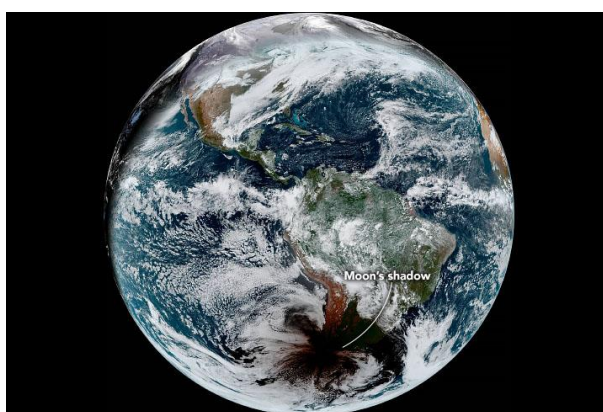


Figure 17. Shadow of the Moon projected on the Earth during the total solar eclipse on December 14, 2020. Image taken by the GOES-16 satellite. (Carlowicz 2020).

Terrain elevation profile of the eclipse path has altitude differences. Higher altitude in the Andes Mountains (maximum 1698 masl) and lower on both coasts (minimum 8 masl on the Chilean coast and 41 masl on the Argentine coast).

From space, the GOES-16 satellite took photographs of the eclipse path (Figure 17) where the total and partial shadow extension is observed in much of South America.

### **Discussion:**

The results in Junín de los Andes refer to the location latitude  $39^{\circ} 57'25''$  S, longitude  $71^{\circ} 04' 22''$  W and altitude 776 meters above sea level. The luminosity data was taken with a cell phone using the phone's built-in sensor. While this measurement is useful for reference, it is less accurate than a professional photometer.

The atmospheric pressure and wind speed data were obtained from the meteorological station located at  $39^{\circ} 56'56''$  S, longitude  $71^{\circ} 04' 36''$  W and altitude 794 masl at 0.9 km in a straight line from the other measurements. The city is located in a valley surrounded by mountains. Altitude variations in the city range between 12 and 15 meters. Many people climbed hills to photograph the eclipse and the landscape, therefore, the temperature variations recorded may be different. Information collected from different sources on the eclipse path may have precision errors, particularly due to different data collection frequencies. The eclipse passed through sparsely populated areas where there are very few measurements on the ground.

The GOES-16 images allowed to know the variation of temperature and cloud cover only in large areas.

The effect of clouds could only be observed in the GOES-16 images but in the GLOBE Observer logs they were scarce in cloudy areas. It was not possible to quantify the effect of the clouds.

Both in the field and satellite data a decrease in air temperature was observed during the totality of the eclipse.

The atmospheric pressure decreased on the day of the eclipse and the wind speed increased, differing from the days before and after. This cannot be assured that it is due to the effect of the eclipse only, because other variables could also influence the movement of the air masses. Meteorologist Matthew Cappucci reported that a moisture shift from the Pacific Ocean generated cloud cover on the eclipse path (The Washington Post, 2020).

Considering that part of the cosmic rays come from the sun with the eclipse, a reduction in the cosmic ray flux was expected, but no differences were recorded with the days before and after the eclipse. This finding is possibly due to the relative importance of cosmic rays of solar origin with respect to those of galactic origin that reach the earth's surface at mid-latitudes. A similar result was obtained (Bennett, 2016) in the total solar eclipse of March 20, 2015 in Europe.

### **Conclusion:**

In the city of Junín de los Andes, the eclipse influenced the decrease in luminosity, surface temperature and air temperature. Luminosity and surface temperature decrease when totality occurs, while air temperature decreases a few minutes later. This was also observed in the 2017 eclipse (Dodson, et al, 2019).

Atmospheric pressure decreases and wind speed increases after totality with greater increase in gusts. These findings are similar to the changes in the local circulation of the analysis of 44

eclipses that, according to Alplin, et al, 2016, give rise to the “eclipse wind” due to fluctuations in atmospheric pressure but could be influencing other variables.

The ground temperature does not reflect any influence of the eclipse, possibly because the duration of totality at the measurement site was very short (1:02 minutes).

It was not possible to measure the influence of the cloud cover during the eclipse in Junín de los Andes because the clouds did not cover the sun, however, the day before the eclipse the cloud cover caused a decrease in temperature of 2.7°C.

The cosmic ray flux did not change due to the eclipse, possibly because: 1) most of the cosmic rays that reach the surface come from sources other than the Sun, or 2) they come from the Sun, but the Moon does not stop them because its size is very small. These results are similar to those obtained in the 2017 eclipse with small portable detectors (Adams, et al, 2019). Other authors also found no significant changes in cosmic ray flux during a total solar eclipse (Bennett, 2016). In the path of the eclipse, the low population density was the cause of the scarce amount of records, data were only obtained from meteorological stations located several kilometers away and from GOES-16 satellite images.

The GOES-16 images show the abundant cloud cover throughout the eclipse path, which in some locations was not possible to observe the phenomenon. This occurred in Chile and much of Argentina, it could only be observed in some localities (The Washington Post, 2020). The temperature decreased at the time of totality on the path of the eclipse.

Eclipses are rare phenomena that can be considered a natural experiment; therefore, it was an opportunity to know the effect of the Sun on the Earth's temperature. In a very short period of time it caused large changes in air and surface temperatures. Thanks to measurements from different sources, it was possible to know the variations in the impact of the eclipse in different locations. In addition to traditional data recording methods (weather stations, satellites, etc.), cell phone applications made it possible to collect data of value for science, providing the opportunity for society to participate as citizen scientists. In addition, this method increases the spatial extension and the sampling density (Amos, et al, 2020), especially important in events of great extension and short duration such as eclipses of the sun.

Due to the covid-19 pandemic, local governments established many restrictions to travel to the eclipse zone, limiting the amount of measurements and scientific investigations.

The latest eclipses generated public interest, and helped spread citizen science. In the future, it is recommended to carry out previous campaigns in the next eclipses in different parts of the world to better understand the meteorology of the eclipses.

Mentor work provided a lot of information about the eclipse and astronomy in general. The mentors also assisted in the selection of data and the processing of the same for the research.

## **Bibliography:**

Adams, M., Unterman, N., Carr, C., Rosenberg, J., Valsamis, A., Dallal, T., Matten, T., Miller, J. & Sears, A. (2019, July). QuarkNet Coordination of a Cosmic Ray Experiment Outreach Project During a Total Solar Eclipse. In *36th International Cosmic Ray Conference (ICRC2019)* (Vol. 36, p. 1045).

- Amos, H. M., Starke, M. J., Rogerson, T. M., Colón Robles, M., Andersen, T., Boger, R., Campbell, B. A., Low, R. D., Nelson, P., Overoye, D., Taylor, J. E., Weaver, K. L., Ferrel, T. M., Kohl, H. & Schwerin, T. G. (2020). GLOBE Observer data: 2016–2019. *Earth and Space Science*, 7(8), e2020EA001175. <https://doi.org/10.1029/2020EA001175>
- Aplin, K. L., Scott, C. J., & Gray, S. L. (2016). Atmospheric changes from solar eclipses. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2077), 20150217. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0217>
- Araya-Pizarro, S. (2020). Astroturismo como alternativa estratégica de dinamización territorial: el caso de la Región Estrella de Chile. *Economía y Sociedad*, 25(58), 1-21. <https://doi.org/10.15359/evs.25-58.2>
- Axani, S. N., Frankiewicz, K., & Conrad, J. M. (2018). The CosmicWatch Desktop Muon Detector: a self-contained, pocket sized particle detector. *Journal of Instrumentation*, 13(03), P03019. Retrieved 25 February 2021, from <https://arxiv.org/pdf/1801.03029.pdf>
- Benítez de Lugo, M. A. (2011). Cien años de rayos cósmicos. *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat. (Esp)* Vol. 105, Nº. 1, pp 107-128
- Bennett, A. J. (2016). Effects of the March 2015 solar eclipse on near-surface atmospheric electricity. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2077), 20150215. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0215>
- Bhaskar, A., Purohit, A., Hemalatha, M., Pai, C., Raghav, A., Gurada, C., Radha, S., Yadav, V., Desai, V., Chitnis, A., Sarpotdar, P. & Patankar, A. (2011). A study of secondary cosmic ray flux variation during the annular eclipse of 15 January 2010 at Rameswaram, India. *Astroparticle Physics*, 35(5), 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2011.08.003>
- Carlowicz M (2020). *Shadows from a Solar Eclipse*. NASA earth observatory. Retrieved 7 March 2021, from <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147659/shadows-from-a-solar-eclipse>
- CONICET. (2021). *Observatorio de rayos cósmicos Pierre Auger: El cielo a sus pies. Astrofísica de partículas*. Buenos Aires: CONICET - DRI - Dirección de Relaciones Institucionales. Retrieved 22 February 2021, from <https://www.conicet.gov.ar/observatorio-de-rayos-cosmicos-pierre-auger-el-cielo-a-sus-pies/>
- Dodson, J. B., Robles, M. C., Taylor, J. E., DeFontes, C. C., & Weaver, K. L. (2019). Eclipse across America: Citizen science observations of the 21 August 2017 total solar eclipse. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58(11), 2363-2385. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0297.1>
- Dyson, F. W., Eddington, A. S., & Davidson, C. (1920). IX. A determination of the deflection of light by the Sun's gravitational field, from observations made at the total eclipse of May 29, 1919. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 220(571-581), 291-333. <https://doi.org/10.1098/rsta.1920.0009>
- Finarelli, M. G. (1998). GLOBE: A worldwide environmental science and education partnership. *Journal of Science Education and Technology*, 7(1), 77-84. <https://doi.org/10.1023/A:1022588216843>

Gerasopoulos, E., Zerefos, C. S., Tsagouri, I., Founda, D., Amiridis, V., Bais, A. F., Belenhaki, A., Christou, N., Economou, G., Kanakidou, M., Kramanos, A., Petrakis, M. & Zanis, P. (2008). The total solar eclipse of March 2006: overview. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(17), 5205-5220. <https://doi.org/10.5194/acp-8-5205-2008>

IAU Working Group on Solar Eclipses, (2021). *Program Group on Public Education at Solar Eclipses*. Retrieved 2 February 2021, from: <https://sites.williams.edu/iau-eclipses/>

INTA (2021) Sistema de información y gestión agrometeorológica - SIGA. Retrieved 10 February 2021, from <http://sig2.inta.gob.ar/#/>

ITeDA (2021). *Stand de ITeDA en tecnópolis | ITeDA*. Iteda.cnea.gov.ar. Retrieved 11 February 2021, from <http://www.iteda.cnea.gov.ar/?q=node/28>.

Jubier, X. (2021). *NASA - Total Solar Eclipse of 2020 Dec 14*. Eclipse.gsfc.nasa.gov. Retrieved 21 February 2021, from <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEgoogle/SEgoogle2001/SE2020Dec14Tgoogle.html>

Kandemir, G., Güçlü, M. C., Geckinli, M., Firat, C., Boydag, S., Özgüc, A., & Yasar, T. (2000). Variation of cosmic ray intensity during the solar eclipse August 11, 1999. In *Last Total Solar Eclipse of the Millennium* (Vol. 205, p. 202). Retrieved 28 February 2021, from <http://adsabs.harvard.edu/pdf/2000ASPC..205..202K>

Kaya, M., & Atakisi, I. (2021). *Cosmic Ray Measurements*. Indico.cern.ch. Retrieved 9 February 2021, from [https://indico.cern.ch/event/405973/contributions/1852949/attachments/1242637/1828385/FCC\\_AydinUniv\\_cosmics\\_mithat.pdf](https://indico.cern.ch/event/405973/contributions/1852949/attachments/1242637/1828385/FCC_AydinUniv_cosmics_mithat.pdf).

Meteoblue (2021). *Climate Junín de los Andes*. Retrieved 5 March 2021, from <https://bit.ly/2OX0UfO>

Mikić, Z., Downs, C., Linker, JA, Caplan, RM, Mackay, DH, Upton, LA, Riley, P., Lionello, R., Török, T., Titov, V. S., Wijaya, J., Druckmüller, M., Pasachoff, J. M. & Carlos, W. (2018). Predicting the corona for the 21 August 2017 total solar eclipse. *Nature Astronomy*, 2(11), 913-921. <https://doi.org/10.1038/s41550-018-0562-5>

Modelo experimental WRF (2021). *Imágenes Satelitales GOES 16*. Grupo de Usuarios WRF. Retrieved 28 February 2021, from <https://wrf.ohmc.com.ar/goes/LST/2020121401/>

NASA (2021). *NASA Eclipse Web Site*. Eclipse.gsfc.nasa.gov. Retrieved 2 February 2021, from <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>

NASA Eclipse. (2021). *NASA - Five Millennium Catalog of Solar Eclipses*. Eclipse.gsfc.nasa.gov. Retrieved 22 February 2021, from <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/SEcatalog.html#cattab>

Nayak, P. K., Gupta, S. K., Jain, A., Mazumdar, I., Raha, S., Saha, S. K., Bobrov, A. V., Osipov, A & Schwartz, B. (2010). A study of the  $\gamma$ -ray flux during the total solar eclipse of 1 August 2008 at Novosibirsk, Russia. *Astroparticle Physics*, 32(6), 286-293. <https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2009.09.006>



Observatorio Pierre Auger. (2021). *¿Qué son los rayos cósmicos?* - Observatorio Pierre Auger. Retrieved 11 February 2021, from <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/ique-son-los-rayos-cosmicos-2/>

Pakkattil, A., Muhsin, M., John, S., Saseendran, A., Thomas, A. P., Deepa, V., & Varma, R. (2020). Trace pollutant fluctuations observed in Calicut city, India, during the annular solar eclipse on 26 December 2019. *Atmospheric Pollution Research*, 11(11), 2049-2055.

Paolantonio, S y Camino, N. (2020). *Eclipse total de Sol del 14 de diciembre de 2020*. 1a ed. Córdoba: Santiago Paolantonio

Paolantonio, S. (2021). *Observaciones de eclipses de Sol realizadas en Argentina (1810 – 1950) I. Historia de la Astronomía*. Retrieved 9 February 2021, from <https://historiadelastronomia.wordpress.com/documentos/eclipses/>

Penaloza-Murillo, M. A., Elmhamdi, A., Pasachoff, J. M., Roman, M. T., Liu, Y., Al-Mostafa, Z. A., Magharabi, A. H. & Al-Trabulsi, H. A. (2020). Air temperature and humidity during the solar eclipses of 26 December 2019 and of 21 June 2020 in Saudi Arabia and in other eclipses with similar environments. *arXiv preprint arXiv:2011.11460*.

Pérez Fogwill, G. A., Copes, G. E., Ferrara, J., & Luccini, E. (2020). Mediciones de Radiación Solar durante el Eclipse Solar Total 2019. Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2020-68. Retrieved 10 February 2021, from [http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1313/Nota\\_Tecnica\\_SMN\\_2020-68.pdf](http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1313/Nota_Tecnica_SMN_2020-68.pdf)

Planetario Galileo Galilei. Buenos Aires (2020). *#Tiempo de eclipses 2019-2020*. Buenos Aires. Argentina

Raghav, A., Bhaskar, A., Yadav, V., & Bijewar, N. (2015). Low energy secondary cosmic ray flux (gamma rays) monitoring and it constrains. *Astrophysics and Space Science*, 355(2), 347-352. <https://doi.org/10.1007/s10509-014-2172-8>

Ros, R. M., & García, B. (2017). *Sol y Eclipses*. 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CONICET. Argentina

Rosnes, A., & Bellis, M. (2020). Evaluating the MIT Cosmic Watch detector as an educational resource. *Bulletin of the American Physical Society*, 65. Retrieved 25 February 2021, from <http://meetings.aps.org/Meeting/APR20/Session/D21.45>

SMN (2021). *Descarga del Catálogo de Datos Abiertos del SMN*. Retrieved 10 February 2021, from <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>

Tanaka, K. (2021). 宇宙線探究活動 探Qって? [Cosmic ray exploration activity What is exploration Q?] Retrieved 10 February 2021, from <https://tanq.kaduo.jp/>

The GLOBE Program (2021a). *Ciclo de seminarios web Eclipse 2020*. Retrieved 2 February 2021, from <https://www.globe.gov/es/web/argentina/home/events/-/eventsdetail/14034/ciclo-de-seminarios-web-eclipse-20-1>.

The GLOBE Program (2021b). GLOBE Visualization System. Retrieved 10 February 2021, from <https://vis.globe.gov/GLOBE/>

The Washington Post (2020, December 15) *How an 'atmospheric river' spoiled Monday's total solar eclipse.* Retrieved 7 March 2021, from <https://www.washingtonpost.com/weather/2020/12/15/atmospheric-river-total-solar-eclipse-chile/>

Timeanddate.com (2021a). *Map of Total Solar Eclipse on 14 de diciembre de 2020.* Retrieved 8 February 2021, from <https://www.timeanddate.com/eclipse/map/2020-december-14>

Timeanddate.com (2021b). *What Are Total Solar Eclipses?* Retrieved 8 February 2021, from <https://www.timeanddate.com/eclipse/total-solar-eclipse.html>

UNCo/FAIN - Departamento de Física (2020) *Conferencias: Encuentros a la puesta del Sol.* (2021). Retrieved 2 February 2021, from <https://eclipse2020.uncoma.edu.ar/index.php/conferencias/>

Wood, J. D., Sadler, E. J., Fox, N. I., Greer, S. T., Gu, L., Guinan, P. E., Lupo, A. R., Market, P. S, Rochette, S.M., Spec, A. & White, L. D. (2019). Land-atmosphere responses to a total solar eclipse in three ecosystems with contrasting structure and physiology. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(2), 530-543. <https://doi.org/10.1029/2018JD029630>

Wunderground (2021b). *Wundermap.* Retrieved 10 February 2021, from <https://www.wunderground.com/wundermap>

Wunderground (2021a). *Junin de los Andes, Neuquen, Patagonia Argentina - INEUQUNJ4 - Elev 2562 ft, 39.95 °S, 71.08 °W.* Retrieved 10 February 2021, from <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/INEUQUNJ4/table/2020-12-14/2020-12-14/daily>

### **Acknowledgment**

We want to acknowledge the training received on astronomy, eclipses and the advice to obtain information from different sources by the GLOBE Program, NASA and the National University of Comahue. We especially thank PhD Marilé Colón Robles, PhD Roberto Rondanelli, PhD Kristen Weaver, PhD Jessica Taylor, PhD Silvia Guidoni, for the webinars and the answers to our questions and doubts during the work. To PhD Dorian W Janney and Prof. Albert Ortiz for helping us in the search for meteorological information on the route of the eclipse. To PhD Susana Ramos for including us in the training on astronomy and eclipse given at the National University of Comahue and to PhD Beatriz García for sharing her knowledge and teaching of astronomy during the NASE training. To PhD Emma Hagen and PhD Dorian W Janney for their help in preparing the presentation with the new format. Also to PhD Kazuo Tanaka for providing the cosmic ray detector and assisting us with the analysis, to PhD Nate Unterman, PhD Mark Adams and PhD Kenneth Cecire for helping us with the cosmic ray research and analysis plan. Finally, we thank NASA and the NGO Astronomers Without Borders for the donation of glasses to visualize the eclipse that allowed us and a large part of the students and teachers of the city to observe the eclipse safely.

### **Badge Descriptions/Justifications:**

**Be a Data Scientist**

From the experience of recording meteorological variables in the total solar eclipse of July 2, 2019 and the training received in the series of webinars and courses and other events to spread the eclipse of December 14, 2020, the students were able to elaborate their questions research, design and execute the research plan. They recorded changes in temperature, cloud cover, and cosmic ray flux on the day of the eclipse and the days before and after for comparison. They also conducted an exhaustive search for data recorded by other people and institutions on the eclipse path. The students were able to graph their data comparing with the pre and post eclipse state to analyze it and answer the research questions. Questions were consulted and discussed with specialists from the GLOBE Program. They also made suggestions for future research. In short, they were able to work as data scientists.

**Be a STEM Professional**

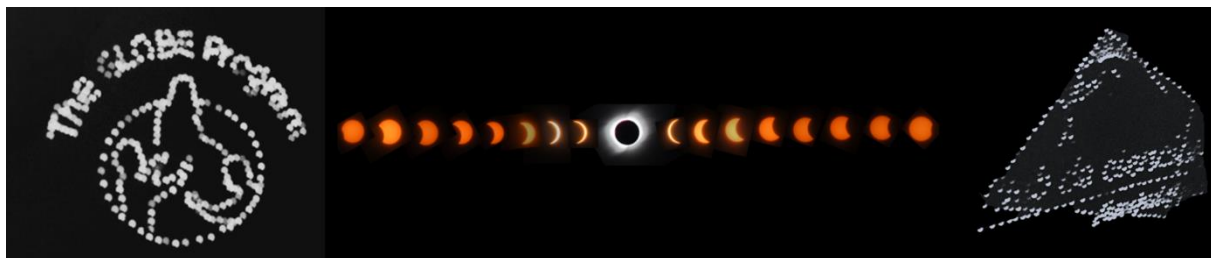
Thanks to the work with STEM mentors from the GLOBE Program, from NASA and the National University of Comahue, the students improved their research methods, design their research, and improve the precision in data collection and analysis. In addition to writing their research report, they made a presentation in Story Map format for the first time.

**I am a collaborator**

The students collaborated with other members of the GLOBE program by sharing their measurements, but they also did so by participating in the Workshop on the eclipse that took place in the city, prior to the coronavirus pandemic and the Cycle of webinars - Eclipse 2020. We also collaborate in the dissemination of the event and the security measures to observe it, we inform about how to project the shadow of the eclipse to make indirect observations and we collaborate by distributing special lenses to see the eclipse in the city of Junín de los Andes and San Martín de los Andes, Argentina.

# Efecto del eclipse total de sol en la meteorología y el flujo de rayos cósmicos

Marianela Pepe, Lucio Martínez and Juan Wehinger  
Ana Beatriz Prieto  
Club de Ciencias Huechulafquen  
Argentina  
Marzo 2021



## Resumen:

Luego de 967 años, el 14/12/2020 ocurrió un eclipse total de sol en Junín de los Andes. La ruta atravesó zonas con baja densidad de población en la Patagonia Chilena y Argentina. Las mediciones se concentraron en la cordillera de los Andes.

Las preguntas de investigación fueron: ¿Qué cambios se producen en la superficie terrestre durante un eclipse total de sol en luminosidad, temperatura, presión atmosférica, vientos y radiación cósmica? ¿Cuánto influye la cobertura de nubes?

En la ciudad se tomaron registros de luminosidad, temperatura del aire, de superficie y del suelo. Se utilizó GLOBE Observer para temperatura del aire y nubes; el detector Cosmic-Watch para flujo de rayos cósmicos. Presión atmosférica y velocidad del viento se obtuvieron de una estación meteorológica cercana.

Para la ruta del eclipse se obtuvieron registros de estaciones meteorológicas cercanas (SMN, SIGA/INTA, Wunderground), e imágenes satelitales GOES-16 de temperatura y cobertura de nubes.

En la ciudad la luminosidad y temperatura de superficie disminuyeron durante la totalidad, la temperatura del aire disminuyó minutos después. Temperatura del suelo y flujo de rayos cósmicos no registraron cambios. La cobertura de nubes fue baja. La presión atmosférica disminuyó y aumentó la velocidad del viento, aunque no puede atribuirse solamente al eclipse.

Gran parte de la ruta del eclipse tuvo cobertura nubosa, en algunas localidades impidió la observación del fenómeno. Se registró disminución de la temperatura del aire después de la totalidad.

Los minutos de la totalidad produjeron grandes cambios en la superficie terrestre, principalmente en luminosidad, temperatura del aire y de superficie. Se recomienda a futuro realizar campañas de participación ciudadana para estudiar en detalle la meteorología de los eclipses.

*Palabras clave:* Eclipse 2020, meteorología del eclipse, GLOBE Observer Eclipse, rayos cósmicos.

## Tabla de contenido

Resumen: .....	1
Pregunta de investigación e hipótesis: .....	1
Introducción y revisión de la literatura: .....	3
Métodos y materiales de investigación: .....	6
Resultados: .....	8
Discusión: .....	15
Conclusión: .....	16
Bibliografía/Citas: .....	17
Agradecimientos: .....	21
Descripciones/Justificaciones de insignias: .....	21



### Pregunta de investigación e hipótesis:

El 14 de diciembre de 2020, ocurrió un eclipse total de sol. (NASA, 2021; Carlowicz M, 2020). Fue un acontecimiento memorable, que pudimos observar desde nuestros propios hogares. Además, este eclipse fue visible en gran parte de Sudamérica. (Figura 6).

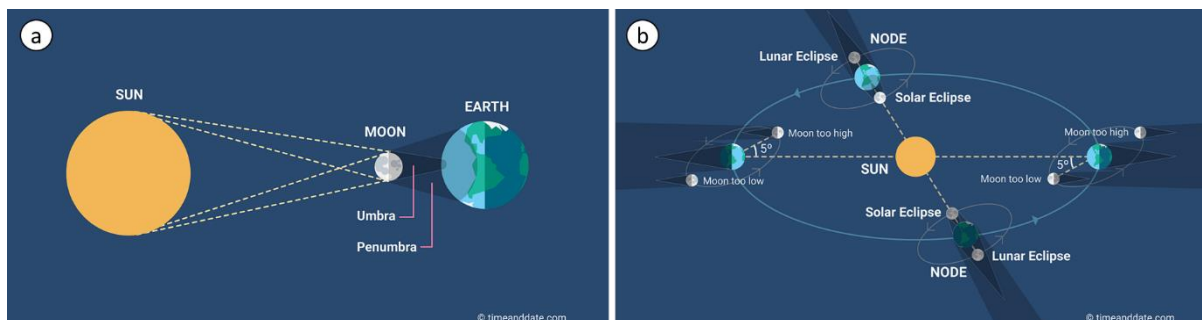


Figura 1. Eclipse total de sol. a) Sol, Luna y Tierra alineados. b) Nodos lunares donde la Luna cruza el plano orbital de la Tierra. (Timeanddate.com, 2021b)

Los eclipses son fenómenos esporádicos que suceden cuando ocurre una alineación perfecta entre el Sol, la Luna y la Tierra. Esta alineación es rara porque la órbita de la luna está inclinada en un ángulo de 5 grados con respecto a la órbita de la Tierra. Este tipo de fenómeno despierta interés en la población además de atraer al turismo (Araya-Pizarro, 2020).

Pero los eclipses también brindan una rara oportunidad que los científicos aprovechan para realizar investigaciones en múltiples áreas científicas que no podrían realizarse de otro modo (Gerasopoulos, et al, 2008). Por ejemplo, el eclipse total de sol del 21 de agosto de 2017 ayudó a probar modelos predictivos de la corona solar (Mikić, et al, 2018) y el eclipse total de sol del 29 de mayo de 1919 ayudó a verificar experimentalmente la teoría de relatividad de Einstein. (Dyson, et al, 1920).

En un eclipse total de Sol, la Luna cruza delante del Sol proyectando su sombra sobre la Tierra durante unos minutos. Esto provoca alteraciones en la luminosidad, temperatura del viento, presión y química de la atmósfera (Aplin, et al., 2016; Dodson, et al, 2019), movimiento de contaminantes (Pakkattil, et al., 2020) con diferente respuesta según los distintos ecosistemas (Wood, et al., 2019, Penaloza-Murillo, et al., 2020).

El Sol también emite rayos cósmicos de baja energía, aunque la mayor parte de los rayos cósmicos llegan desde múltiples direcciones del espacio e incluso algunos atraviesan Tierra. La mayoría de estas partículas suelen ser protones provenientes de otras galaxias suficientemente cercanas o explosiones de supernova, que expulsan grandes cantidades de partículas cargadas. Algunas partículas pueden ser muy energéticas. Cuando una partícula llega a la atmósfera colisiona con otras produciendo muchas partículas secundarias que comparten la misma energía de la partícula primaria original. Estas partículas primarias también colisionan con las moléculas del aire produciendo miles de millones de partículas, algunas se desintegran rápidamente y otras alcanzan la superficie terrestre. (Benítez de Lugo, 2011; CONICET, 2021; Kaya, & Atakisi, 2021; ITeDA, 2021; Observatorio Pierre Auger, 2021).

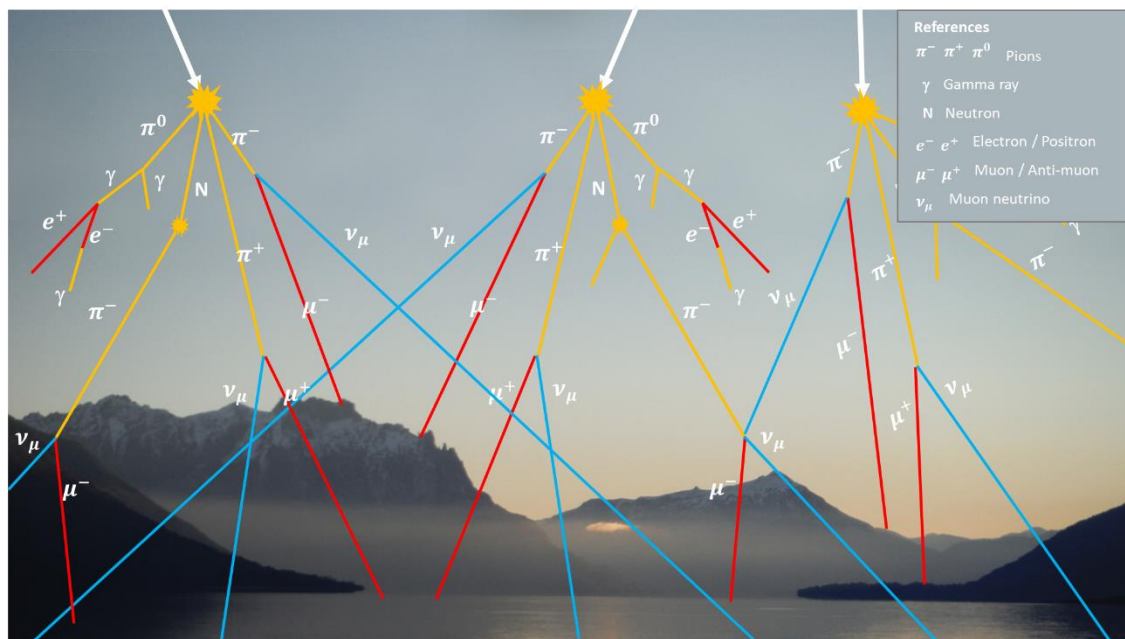


Figura 2. Esquema de la "lluvia" de rayos cósmicos sobre la superficie terrestre. Foto de fondo: Lago Tromen, fuente propia. Diagrama de cascada de rayos cósmicos secundarios (Kaya, & Atakisi, 2021).

Investigar cuando ocurren eclipses totales de Sol es interesante porque se trata de un experimento natural, que no tenemos la capacidad de replicarlo proyectando sombra sobre la Tierra en un área tan grande. Durante un eclipse cambian algunas condiciones ambientales durante unos minutos y nos permite conocer la influencia del Sol sobre la Tierra.

#### Preguntas de investigación:

- ¿Qué cambios se producen en la superficie terrestre durante un eclipse total de sol?
  - ¿Cuánto cambian la luminosidad, temperatura, presión atmosférica, vientos y la radiación cósmica en la superficie terrestre?
  - ¿Cuánto influye la cobertura de nubes?

#### Hipótesis:

H<sub>1</sub>: Durante un eclipse total de sol se producen cambios en la luminosidad, temperatura, presión atmosférica y vientos.

H<sub>2</sub>: El flujo de rayos cósmicos que alcanza la superficie terrestre disminuye porque algunos provienen del Sol.

H<sub>3</sub>: La cobertura de nubes atenúa los cambios de temperatura y luminosidad en la superficie terrestre.







#### Introducción y revisión de la literatura:

El primer eclipse total de sol registrado en Argentina ocurrió al año siguiente de la independencia, el 24 de marzo de 1811 (Paloantonio, 2021). Durante el siglo XIX, en Argentina, se observaron 7 eclipses totales de sol (años: 1811, 1833, 1835, 1837, 1846, 1880 y 1891), en el siglo XX 9

eclipses (años: 1904, 1908, 1921, 1930, 1947, 1966, 1992 y 1994) y en el siglo XXI 3 eclipses (años: 2010, 2019 y 2020). (NASA Eclipse, 2021)

En el último eclipse ciudad de Junín de los Andes se encontraba en el camino de la totalidad (Jubier, 2021) que ocurrió a las 13:04 hs y fue posible observarlo desde cualquier lugar de la ciudad. Los eclipses se repiten pocas veces en un mismo sitio. Por ejemplo, en Junín de los Andes, han sido visibles 6 eclipses en los últimos 200 años (Tabla 1).

*Tabla 1. Eclipses totales de sol en Junín de los Andes desde el año 0. Elaboración a partir de datos de Nasa Eclipse, 2021.*

Fecha	Duración de la totalidad	Magnitud	Eclipse máximo (hora local)	Mapa	Link
2020/12/14	1m 02.3s	1.002	13:06		<a href="https://go.nasa.gov/2Nninlo">https://go.nasa.gov/2Nninlo</a>
1053/05/20	4m 37.7s	1.024	12:15		<a href="https://go.nasa.gov/2NMlodl">https://go.nasa.gov/2NMlodl</a>
0837/01/10	2m 50.1s	1.017	11:19		<a href="https://go.nasa.gov/3kbzaUc">https://go.nasa.gov/3kbzaUc</a>
0778/03/03	1m 11.8s	1.009	18:51		<a href="https://go.nasa.gov/3un0CmN">https://go.nasa.gov/3un0CmN</a>
0288/01/20	1m 58.8s	1.005	15:43		<a href="https://go.nasa.gov/3pJ0oCQ">https://go.nasa.gov/3pJ0oCQ</a>
0051/03/30	4m 20.0s	1.028	15:43		<a href="https://go.nasa.gov/3kdUMiR">https://go.nasa.gov/3kdUMiR</a>

Considerando el interés de los eclipses en la sociedad, el Programa GLOBE (Finarelli, 1998) lanzó una aplicación de ciencia ciudadana GLOBE Observer (Amos, et al, 2020) invitando a reportar mediciones de temperatura y nubes durante el eclipse de 2017 en Estados Unidos. Esta misma aplicación se utiliza habitualmente en todo el mundo para reportar mediciones de nubes, cobertura terrestre, hábitat de mosquitos y árboles. La aplicación eclipse se activa especialmente para estos eventos. También se utilizó en los eclipses de 2019 y 2020 en Sudamérica.

Para difundir el eclipse e informar a la sociedad y comunidades educativas muchas instituciones realizaron campañas. El Programa GLOBE lanzó un ciclo de seminarios sobre el tema (The GLOBE Program, 2021a), la Universidad Nacional del Comahue realizó un curso y un ciclo de charlas (UNCo/FAIN - Departamento de Física, 2020) y otras organizaciones difundieron material de divulgación en diferentes formatos (IAU, 2021; Paolantonio y Camino, 2020; Planetario Galileo Galilei. Buenos Aires, 2020; Ros y García, 2017).

Durante los eclipses se produce una perturbación abrupta de la radiación solar por pocos minutos de forma muy diferente a los ciclos diurnos y nocturnos (Pérez Fogwill, et al, 2020). Este fenómeno brinda la oportunidad de estudiar la conexión Tierra-Sol de una forma diferente a los estudios habituales. Por ejemplo, el eclipse 2017 atravesó zonas muy pobladas de Estados Unidos y tuvo una importante participación de ciudadanos científicos que registraron cambios en la temperatura, tipo y cobertura de nubes. Con estos datos y el aporte de otras fuentes se

encontró que la diferencia de temperatura provocada por el eclipse se reducía a la mitad en las zonas con cobertura de nubes. Es decir que las nubes atenuaban el efecto del eclipse aproximadamente la mitad del valor de las condiciones despejadas (Dodson, et al, 2019).

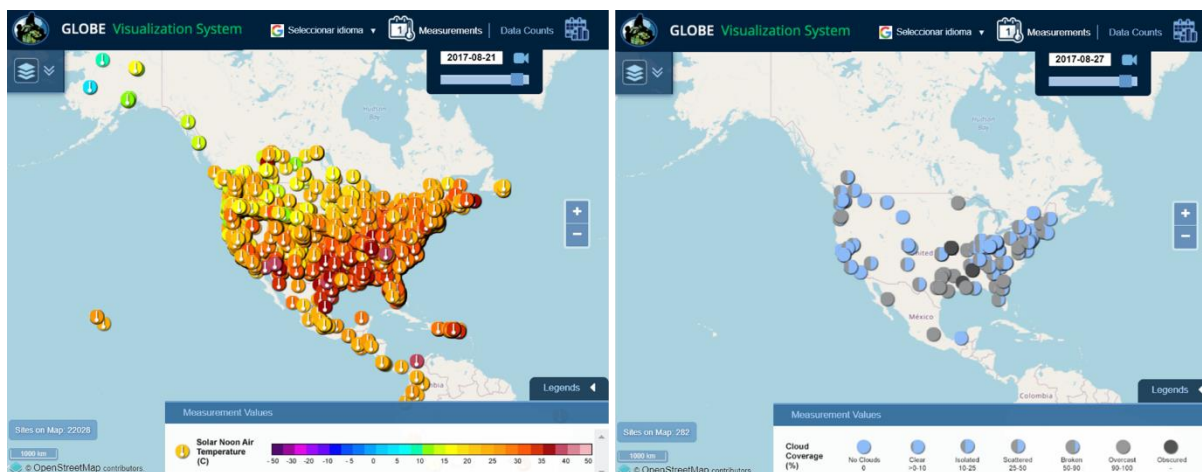


Figura 3. Eclipse de sol, 21 de agosto de 2017 en Estados Unidos. Registros de temperatura del aire (izquierda) y cobertura de nubes (derecha) tomadas por estudiantes, docentes del Programa GLOBE y científicos ciudadanos. La ruta del eclipse atravesó zonas densamente pobladas. (The GLOBE Program, 2021b)

En el eclipse del 2 de julio de 2019, el oscurecimiento máximo se produjo a las 17:30 hora local y en invierno. Por este motivo las temperaturas y la luminosidad se incrementaron poco luego de la totalidad. En algunas zonas el porcentaje de cobertura de nubes fue alto y dificultó la observación del eclipse.

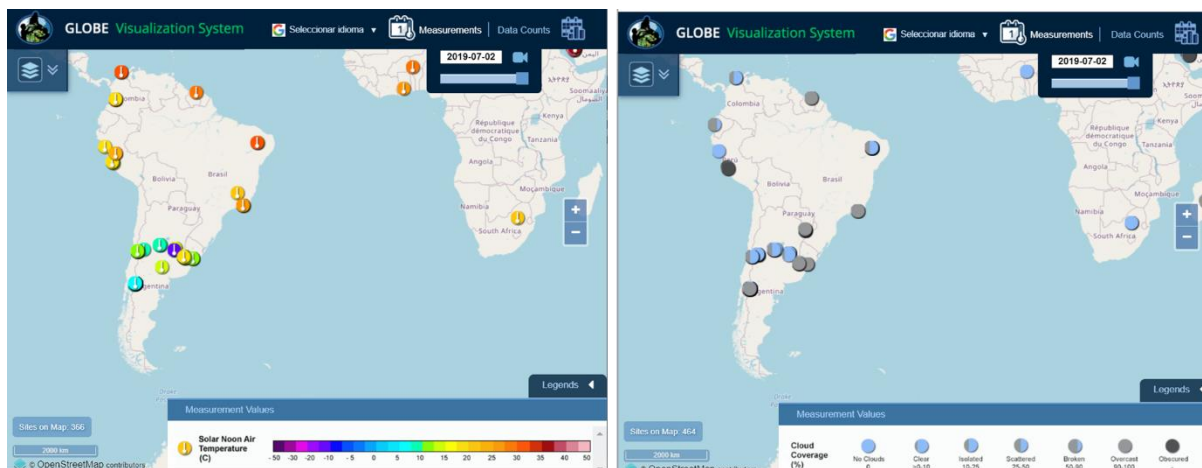


Figura 4. Eclipse de sol, 2 de julio de 2019 en Argentina y Chile. Registros de temperatura del aire (izquierda) y cobertura de nubes (derecha) reportados por estudiantes y docentes del Programa GLOBE y científicos ciudadanos. (The GLOBE Program, 2021b)

Desde Junín de los Andes este eclipse se observó en forma parcial con un 75% de sombra. La temperatura del aire disminuyó levemente poco durante el oscurecimiento máximo y luego se incrementó ligeramente coincidiendo con el final de la tarde. La temperatura de superficie y la



luminosidad se incrementaron luego del máximo. (Figura 5). La cobertura de nubes fue del 25% y permitió observar el fenómeno.

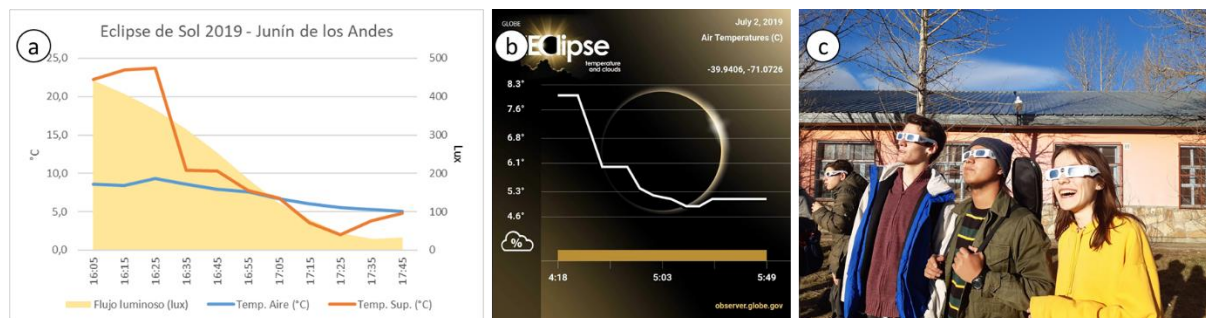


Figura 5. Eclipse total de sol, 2 de Julio de 2019 (parcial en Junín de los Andes). a) Cambios en la luminosidad y b) temperaturas (del aire y de superficie). Es más marcado el descenso de temperatura de superficie, mientras que la temperatura del aire disminuye muy poco. c) Integrantes del Club de Ciencias Huechulafquen observando el eclipse.

El eclipse también es una oportunidad para estudiar el flujo de rayos cósmicos que llegan a la superficie terrestre. En algunos eclipses se ha registrado una disminución del flujo de rayos cósmicos secundarios (Bhaskar, et al, 2010; Nayak, et al, 2008; Raghav, et al, 2015; Kandemir, et al, 2000), mientras que en otros eclipses no se hallaron diferencias significativas (Bennett, 2016; Adams, et al, 2019).

Muchas escuelas y clubes de ciencias alrededor del mundo tienen detectores de rayos cósmicos que han sido distribuidos por los programas QuarkNet (Adams, et al, 2019), por el MIT (Rosnes & Bellis 2020; Axani, et al., 2018) y por 宇宙線探究活動 探Qって? [Cosmic ray exploration activity What is exploration Q?] (Tanaka, 2021) para introducir a los estudiantes en el tema.

El programa QuarkNet organizó la medición del flujo de rayos cósmicos por parte de escuelas durante el eclipse de 2017. Varias instituciones participaron de esta medición, pero no detectaron diferencias en el flujo de muones que llegan a la superficie terrestre (Adams, et al, 2019)

### Métodos y materiales de investigación:

El evento del eclipse se observó desde la ciudad de Junín de los Andes, a 776 metros sobre el nivel del mar, localizada en la ruta del eclipse (Figura 6). Es una zona de estepa de transición entre el bosque al Oeste, en la Cordillera de Los Andes, y la estepa patagónica al Este. El promedio de temperatura en diciembre es de 20°C (Mínimo de 9°C y Máximo 29°C), de precipitaciones de 23 mm (con 23.9 días secos) y de cobertura de nubes es de 4.9 días nublado, 15.4 días parcialmente nublado y 10,7 días soleado. Los vientos predominantes son del Oeste y seguidos por vientos del Oeste-Nor-Oeste. La velocidad del viento en diciembre es >38 km/h (2.1 días), >28 km/h (11.1 días), >19 km/h (12.3 días), >12 km/h (4.6 días) (Meteoblue, 2021).

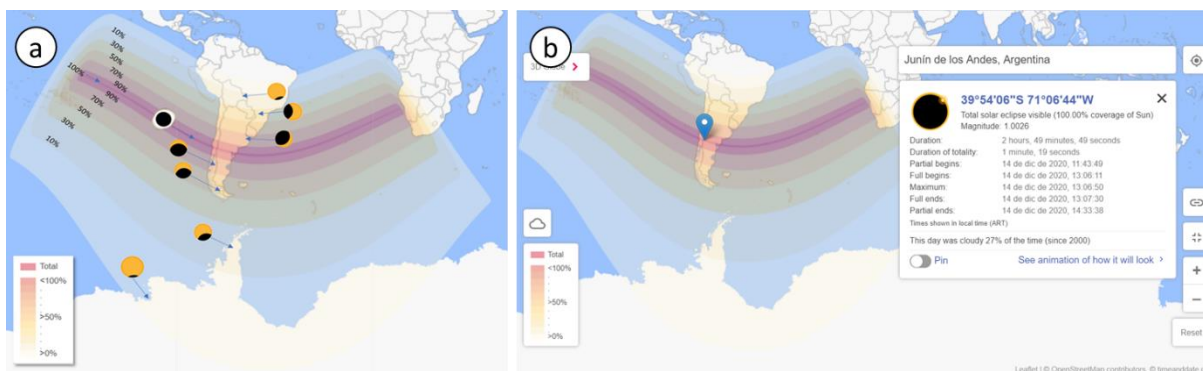


Figura 6. a) Ruta del eclipse y coberturas total y parcial. b) Localización de Junín de los Andes. Mapa base (Timeanddate.com 2021a).

Se realizaron mediciones con aplicaciones de celular utilizando un teléfono Samsung Galaxy A30 con sensor de luz tipo TCS3701. Para las mediciones de luminosidad se utilizó la app Phyphox (Physical Phone Experiments <https://phyphox.org/>) y la app Eclipse Calculator 2.0 <https://serviastro.ub.edu/es/materiales/aplicaciones/eclipsi-20> para conocer el momento exacto de la totalidad del eclipse según la localización.

La temperatura del aire se tomó con termómetro de alcohol y otro de mercurio (con máxima y mínima). También se utilizaron sensores PASCO (Wireless Temperature Sensor PS-3201) para registrar la temperatura del aire y del suelo y un termómetro Infrarrojo Digital Sinometer GM320 para la temperatura de superficie.

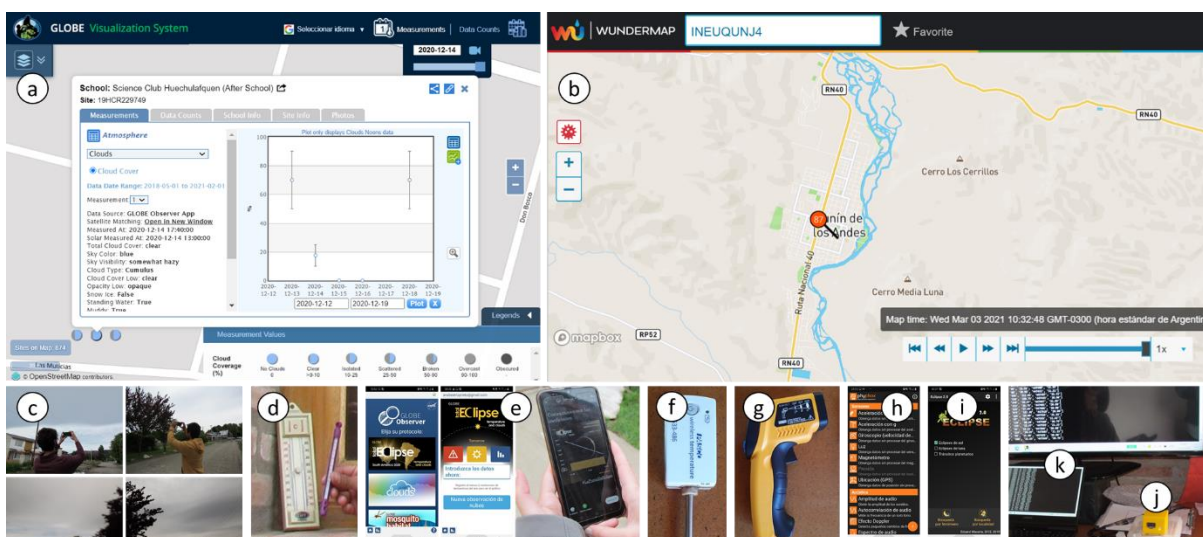


Figura 7. Equipamiento y sitios web utilizados. a) GLOBE Visualization System, b) Estación meteorológica cercana al sitio de mediciones, c) registro de nubes con GLOBE Observer app, d) termómetros de máxima y mínima (izquierda) y alcohol (derecha), e) app GLOBE Observer Eclipse, f) sensor de temperatura PASCO, g) termómetro infrarrojo digital, h) app Phyphox, i) app Eclipse 2.0, j) detector de rayos cósmicos Cosmic Watch y k) visualización y registro de rayos cósmicos.

Para el registro manual de temperatura del aire, tipo y cobertura de nubes se utilizó la app GLOBE Observer Eclipse <https://observer.globe.gov/es/do-globe-observer/eclipse>



El detector Cosmic Watch <http://www.cosmicwatch.lns.mit.edu/detector#components> proporcionado por el programa 宇宙線探究活動 探Qって? [Cosmic ray exploration activity What is exploration Q?] se utilizó para registrar el flujo de rayos cósmicos. Los datos de presión atmosférica y vientos se obtuvieron de la estación meteorológica más cercana <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/INEUQUNJ4> localizada en la ciudad de Junín de los Andes.

Todas las mediciones se realizaron en los períodos pre-eclipse (día 13 de diciembre), el día del eclipse (14 de diciembre) y post-eclipse (15 de diciembre) en el horario del comienzo al final del eclipse (desde 11:30 a 15 hs - hora local).

La ruta del eclipse atravesó zonas con baja densidad de población, en particular en la estepa patagónica por este motivo las mediciones de GLOBE Observer se concentraron en el área de totalidad en las localidades cercanas a la cordillera de Los Andes. En la estepa central patagónica hay pocas estaciones meteorológicas. Se tomaron los datos de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2021), del SIGA/INTA (INTA, 2021) y de la Red Wunderground (Wunderground, 2021b). También se utilizaron imágenes satelitales GOES 16 para datos de temperatura y cobertura de nubes (Modelo experimental WRF, 2021).

## Resultados:

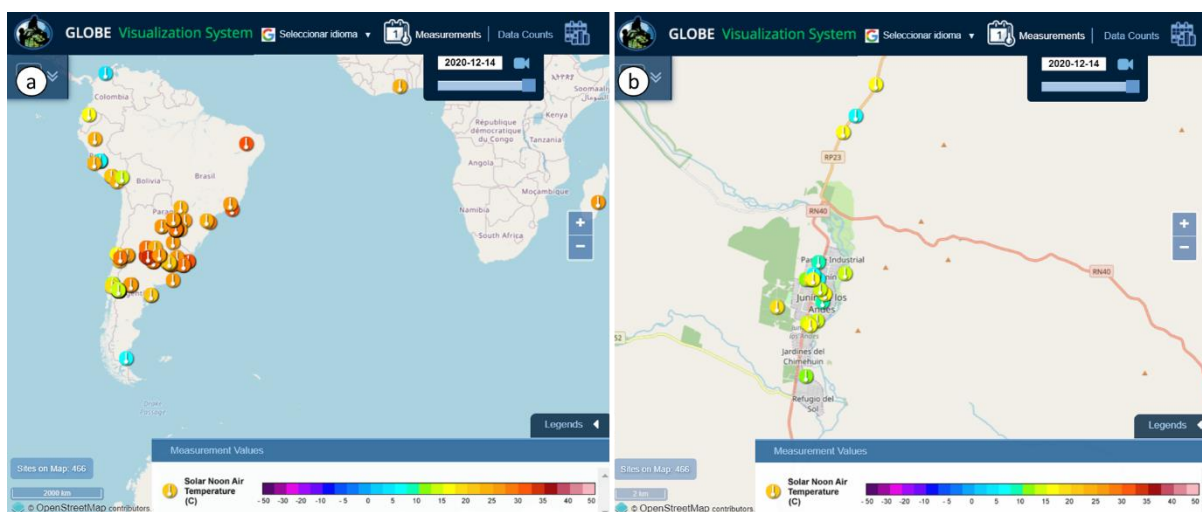


Figura 8. Eclipse total de sol 14 de diciembre 2020. Datos de temperatura del aire reportados mediante la app GLOBE Observer. a) Datos en Sudamérica y b) datos en Junín de los Andes y zonas cercanas. (The GLOBE Program, 2021b)

Muchos estudiantes, docentes y científicos ciudadanos reportaron datos durante el eclipse del 14 de diciembre 2020. La baja densidad de población de la región de Patagonia influyó en el número de datos. La mayor parte se concentraron en las ciudades cercanas a la cordillera de los Andes. Muchas mediciones se concentraron en la ruta del eclipse de 2019. En la ciudad de Junín de los Andes las mediciones se concentraron en el centro de la ciudad, otras se extienden a lo largo de las rutas porque parte de la población se desplazó hacia otros sitios para observar mejor.

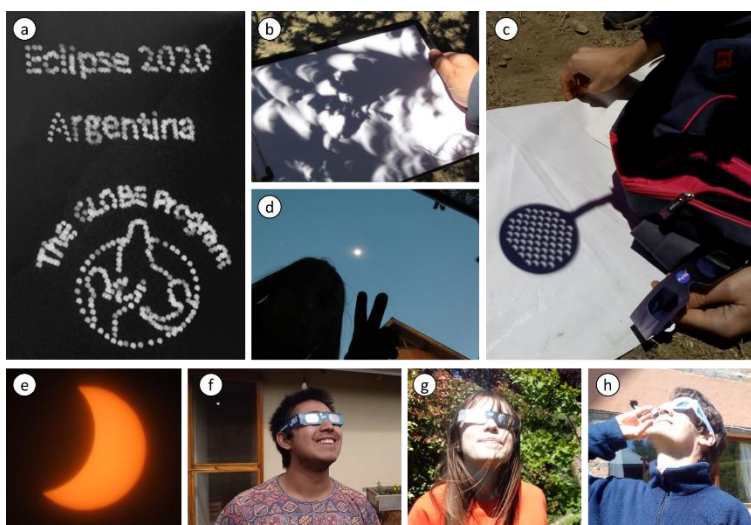


Figura 9. Observación del eclipse total de sol el 14 de diciembre de 2020 en Junín de los Andes, Argentina. a) proyección de la sombra del eclipse con un papel perforado con el logo del Programa GLOBE, b) proyección natural del eclipse generada por las hojas de los árboles, c) proyección con una espumadera, d) selfie en el momento de la totalidad, e) foto tomada con cámara réflex, f) g) y h) integrantes del Club de Ciencias Huechulafquen observando el eclipse con lentes certificados.

El eclipse pudo observarse en forma directa con lentes especiales o a través de proyecciones de la sombra (Figura 9).

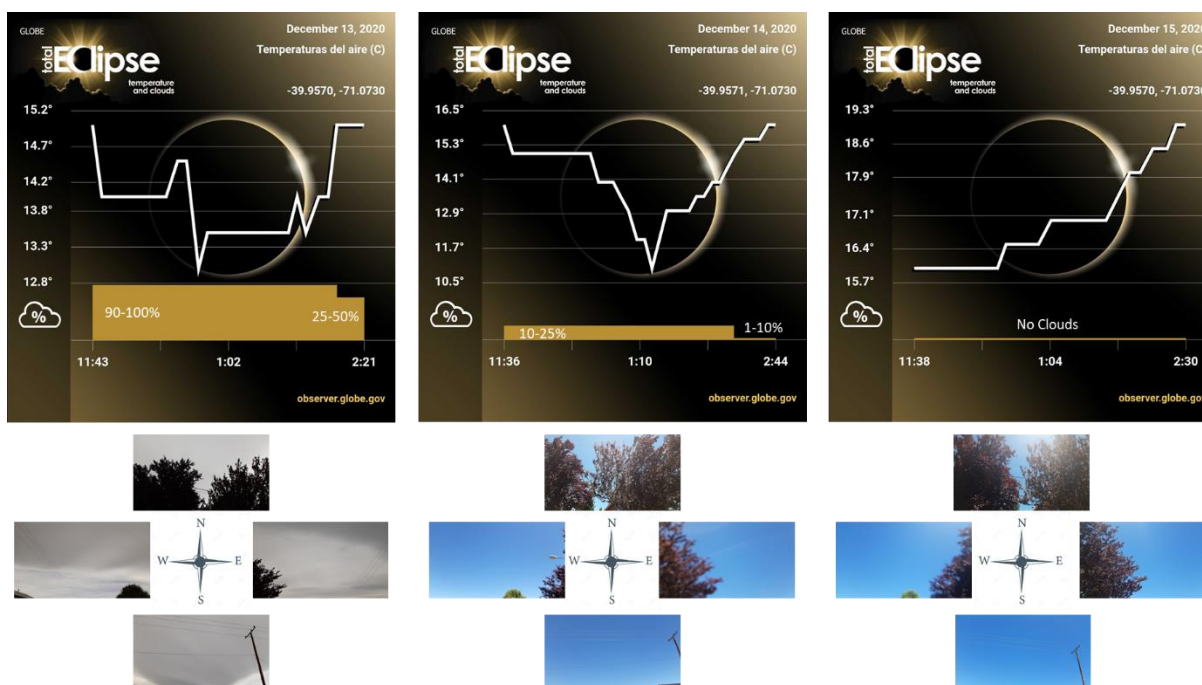


Figura 10. Resultados de los registros con la app GLOBE Observer los días 13, 14 y 15 de diciembre 2020 en Junín de los Andes.

El día 13 de diciembre en el horario de registro la cobertura de nubes fue de 90-100% y casi al final del registro se redujo de 25-50%. Esto provocó la disminución de la temperatura del aire que se incrementó al reducirse la nubosidad. El día 14 de diciembre la cobertura de nubes fue del 10-25% y no cubrieron el sol. El descenso de temperatura del aire de 5°C se produjo por efecto del eclipse. El día 15 de diciembre no se registraron nubes, la temperatura del aire se incrementó progresivamente durante todo el período de medición.

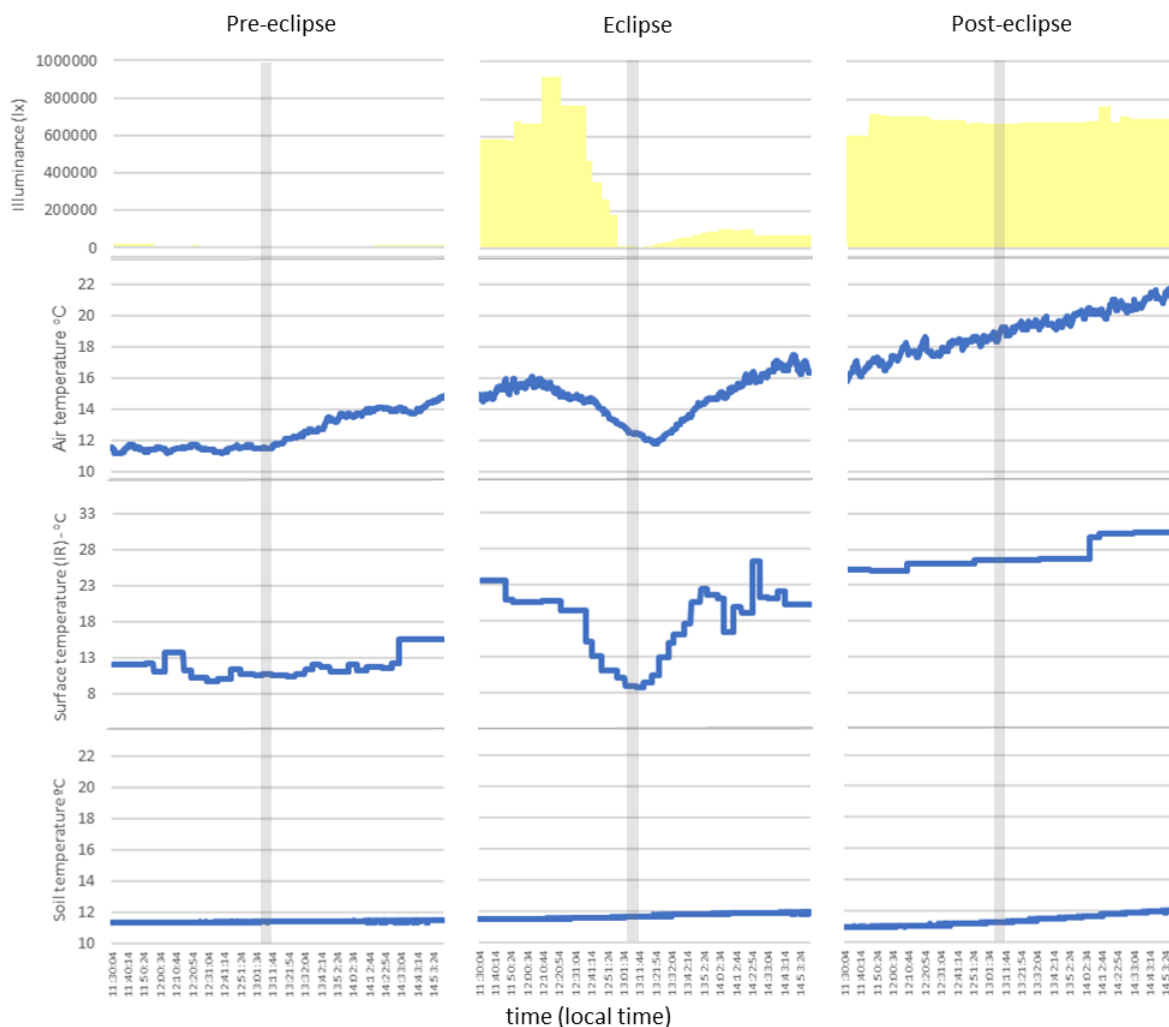


Figura 11. Luminosidad y temperaturas del aire, de superficie y del suelo en Junín de los Andes. La barra gris señala el horario de la totalidad para comparar el eclipse con los días pre y post eclipse.

El día previo al eclipse la luminosidad disminuyó por efecto de la cobertura de nubes (Figuras 10 y 11) influyendo en la disminución de la temperatura del aire. La temperatura de la superficie también disminuyó, pero menos que la del aire. La temperatura del suelo no fue afectada por el cambio en la nubosidad.

El día del eclipse durante la totalidad se observa una disminución rápida de la luminosidad. La temperatura de superficie disminuye rápidamente en forma coincidente con la luminosidad,

mientras que la temperatura del aire registra sus valores mínimos unos minutos después de la totalidad. La temperatura del suelo fue afectada por el eclipse. (Figura 11)

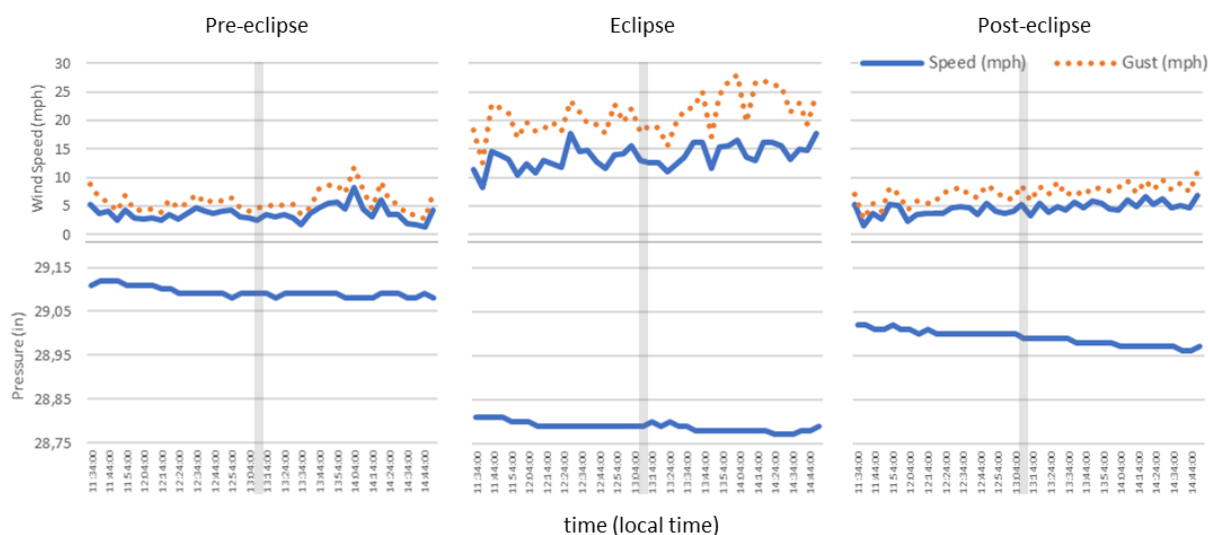


Figura 12. Velocidad del viento, ráfagas máximas y presión atmosférica, en Junín de los Andes, registradas antes, durante y después del eclipse. La barra gris señala el horario de la totalidad. Datos estación meteorológica cercana. (Wunderground, 2021a).

El día posterior al eclipse se registraron pequeñas variaciones de luminosidad debido a la ausencia de nubes. La temperatura del aire y de superficie se incrementaron progresivamente durante el periodo de registro. La temperatura del suelo tuvo un leve incremento durante el período de registro. (Figura 11)

La velocidad del viento y las ráfagas máximas fueron bajas el día anterior al eclipse. La presión atmosférica se mantuvo estable. El día del eclipse la presión atmosférica fue menor que los días pre y post eclipse. La velocidad del viento osciló entre 10 y 18 mph (metros por hora) pero las ráfagas máximas fueron altas especialmente después de la totalidad con máximas cercanas a 30 mph. El día posterior al eclipse la presión atmosférica fue más alta y la velocidad del viento disminuyó. (Figura 12)

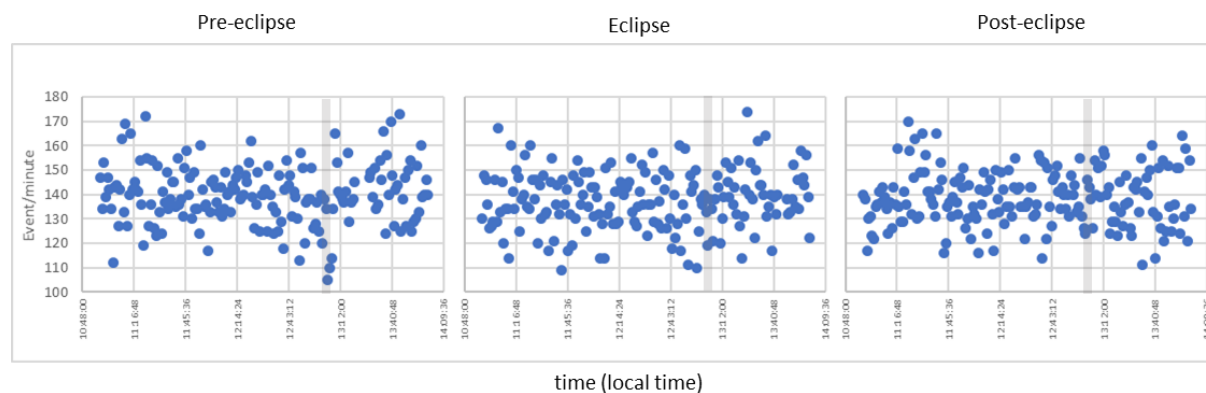


Figura 13. Flujo de rayos cósmicos en Junín de los Andes, registrados antes, durante y después del eclipse. La barra gris señala el horario de la totalidad.

El flujo de rayos cósmicos en la superficie terrestre fue estable durante el horario registrado. No existen diferencias por efecto del eclipse y tampoco en los días pre y post eclipse. (Figura 13 y 14)

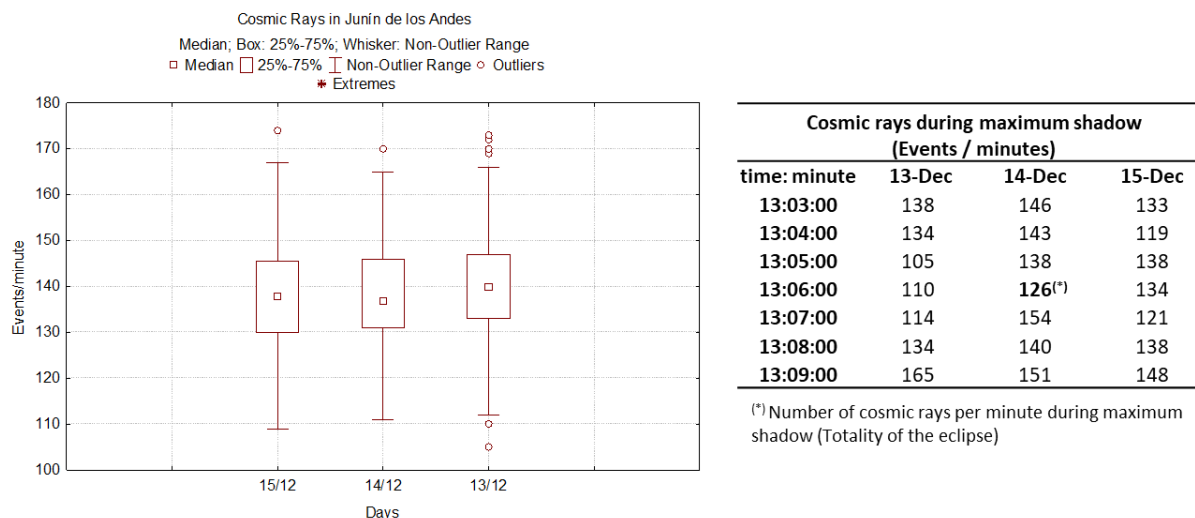


Figura 14. Comparación del flujo de rayos cósmicos antes, durante y después del eclipse en Junín de los Andes. Valores medios (izq.) y tabla con la variación desde las 13:03 a las 13:09 hora local. Se señala el flujo de rayos cósmicos durante la totalidad.

Los valores de la mediana para el flujo de rayos cósmicos son similares en pre y post eclipse. El día 13 se registran algunos outliers mínimos y máximos. En los minutos alrededor de la totalidad tampoco se registraron variaciones en el flujo de rayos cósmicos. (Figura 14)

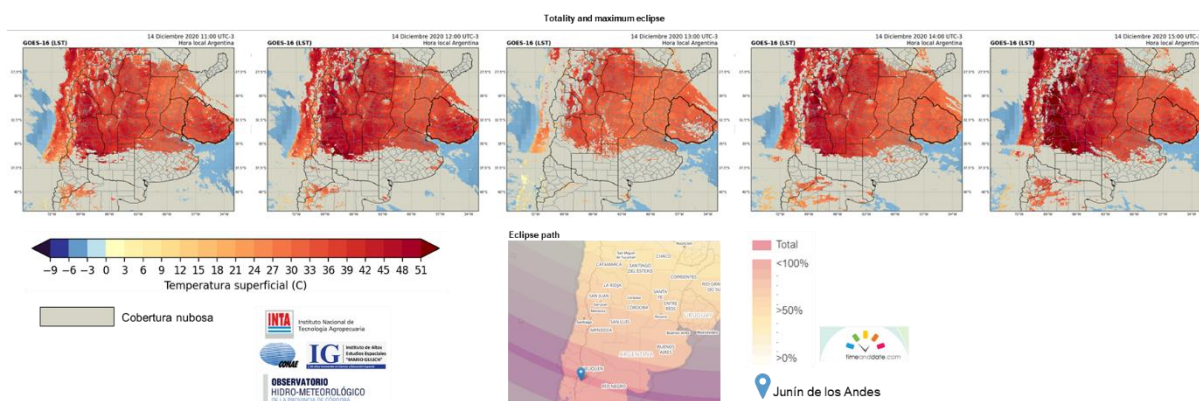


Figura 15. Temperatura del aire y cobertura nubosa (Modelo experimental WRF, 2021) y la ruta del eclipse (Timeanddate.com, 2021a).

La ruta del eclipse estuvo cubierta de nubes de 11 a 15 hs (hora local). En muchas localidades impidió la observación del fenómeno o se observó parcialmente. En las imágenes GOES-16 se observa una disminución de la temperatura con un mínimo a las 13 hs en forma coincidente con la totalidad y luego un incremento en las imágenes siguientes. (Figura 15)



Debido a la baja densidad de población en la zona hay pocos registros tomados en el terreno. Se accedió a estaciones meteorológicas de ciudades cercanas a la ruta del eclipse, pero la frecuencia de registros es diferente (con variaciones de un registro por hora a un registro cada 5 minutos).

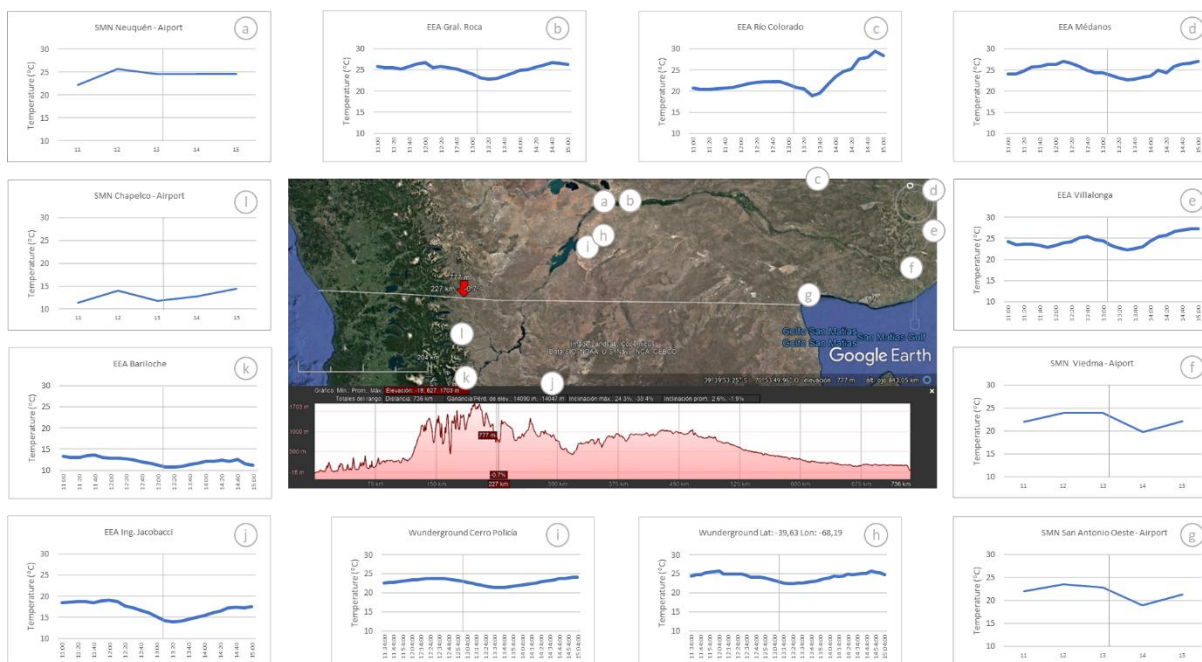
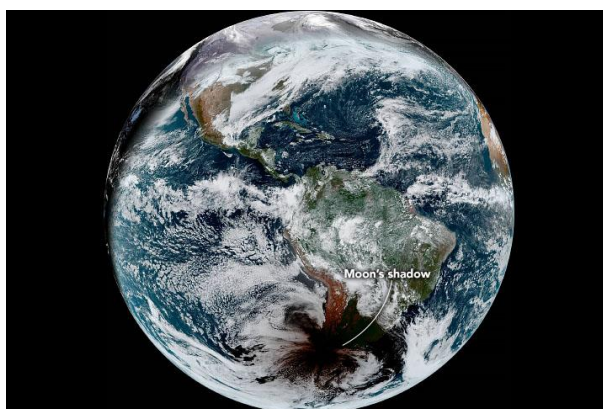


Figura 16. Perfil de elevación del terreno en la ruta del eclipse realizado con Google Earth. Gráficos de temperatura del aire en localidades cercanas durante el eclipse. Las líneas señalan el horario de la totalidad. Fuentes: SMN Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2021), EEA - Estación Meteorológica Automática del SIGA (INTA, 2021) y Wunderground (Wunderground, 2021b).

La temperatura del aire disminuyó unos minutos después de la totalidad en las localidades cercanas a la ruta del eclipse. (Figura 16). La diferencia en la disminución de temperatura poPhDía estar influida por la cobertura de nubes, siendo menor en las zonas con mayor cobertura a las 13 hs. (hora local) al compararlas con la imagen GOES-16 de las 13 hs (hora local). (Figura 15)





*Figura 17. Sombra de la Luna proyectada sobre la Tierra durante el eclipse total de sol el 14 de diciembre 2020. Imagen tomada por el satélite GOES-16. (Carlowicz 2020).*

El perfil de elevación del terreno de la ruta del eclipse tiene diferencias de altitud. Mayor altitud en la Cordillera de Los Andes (máximo 1698 msnm) y menor en ambas costas (mínimo 8 msnm en la costa chilena y 41 msnm en la costa argentina).

Desde el espacio el satélite GOES-16 tomó fotografías de la ruta del eclipse (Figura 17) donde se observa la extensión de sombra total y parcial en gran parte de Sudamérica.

### **Discusión:**

Los resultados en Junín de los Andes se refieren a la localización latitud 39° 57'25" S, longitud 71° 04' 22" W y altitud 776 msnm. Los datos de luminosidad fueron tomados con un teléfono celular utilizando el sensor incorporado en el teléfono. Si bien esta medición es útil como referencia, tiene menos precisión que un fotómetro profesional.

Los datos de presión atmosférica y velocidad del viento se obtuvieron de la estación meteorológica localizada a 39° 56'56" S, longitud 71° 04' 36" W y altitud 794 msnm a 0.9 km en línea recta de las demás mediciones. La ciudad se encuentra en un valle rodeado de montañas. Las variaciones de altitud en la ciudad oscilan entre 12 y 15 metros. Muchas personas subieron a cerros para fotografiar el eclipse y el paisaje, por lo tanto, las variaciones de temperatura registradas pueden ser diferentes.

La información recopilada de diferentes fuentes en la ruta del eclipse puede tener errores de precisión, en particular por las diferentes frecuencias de toma de datos. El eclipse pasó por áreas con baja densidad de población donde hay muy pocas mediciones en el terreno.

Las imágenes GOES-16 permitieron conocer la variación de temperatura y cobertura de nubes solo en grandes áreas.

El efecto de las nubes solo pudo observarse en las imágenes GOES-16 pero en los registros de GLOBE Observer fueron escasos en las zonas nubladas. No fue posible cuantificar el efecto de las nubes.

Tanto en los datos tomados en terreno como los de satélite se observó una disminución de la temperatura del aire durante la totalidad del eclipse.

La presión atmosférica disminuyó el día del eclipse y se incrementó la velocidad del viento diferenciándose de los días anterior y posterior. Esto no puede asegurarse que sea por el efecto del eclipse únicamente, porque también pudieron influir otras variables en el movimiento de las masas de aire. El meteorólogo Matthew Cappucci informó sobre un desplazamiento de humedad proveniente del océano pacífico generó la cobertura de nubes en la ruta del eclipse (The Washington Post, 2020).

Considerando que parte de los rayos cósmicos provienen del sol con el eclipse se esperaba una reducción del flujo de rayos cósmicos, pero no se registraron diferencias con los días anterior y posterior al eclipse. Este hallazgo posiblemente se deba a la importancia relativa de los rayos cósmicos de origen solar con respecto a los de origen galáctico que alcanzan la superficie terrestre en latitudes medias. Un resultado similar obtuvo (Bennett, 2016) en el eclipse total de sol del 20 de marzo de 2015 en Europa.

## Conclusión:

En la ciudad de Junín de los Andes, el eclipse influyó en la disminución de la luminosidad, la temperatura de superficie y la temperatura del aire. La luminosidad y la temperatura de superficie disminuyen cuando se produce la totalidad, mientras que la temperatura del aire disminuye unos minutos después. Esto también se observó en el eclipse de 2017 (Dodson, et al, 2019).

La presión atmosférica disminuye y la velocidad del viento se aumenta después de la totalidad con mayor incremento en las ráfagas máximas. Estos hallazgos son similares a los cambios en la circulación local del análisis de 44 eclipses que según Alplin, et al, 2016 dan origen al “viento del eclipse” debido a las fluctuaciones de la presión atmosférica.

La temperatura del suelo no refleja ninguna influencia del eclipse, posiblemente porque la duración de la totalidad en el sitio de medición fue muy breve (1:02 minutos).

No fue posible medir la influencia de la cobertura de nubes durante el eclipse en Junín de los Andes porque las nubes no cubrieron el sol, sin embargo, el día anterior al eclipse la cobertura de nubes provocó una disminución de la temperatura de 2,7 °C.

El flujo de rayos cósmicos no cambió por influencia del eclipse posiblemente porque: 1) la mayor parte de los rayos cósmicos que llegan a la superficie provengan de otras fuentes diferentes al Sol, o 2) que provengan del Sol, pero la Luna no llega a detenerlos debido a que su tamaño es muy pequeño. Estos resultados son similares a los obtenidos en el eclipse de 2017 con detectores portátiles pequeños (Adams, et al, 2019). Otros autores tampoco encontraron cambios significativos en el flujo de rayos cósmicos durante un eclipse total de sol (Bennett, 2016).

En la ruta del eclipse la baja densidad de población fue la causa de la escasa cantidad de registros, solo se obtuvieron datos de estaciones meteorológicas ubicadas a varios kilómetros y de imágenes satelitales GOES-16.

Las imágenes GOES-16 muestran la abundante cobertura de nubes en toda la ruta del eclipse, que en algunas localidades impidió la observación del fenómeno. Esto ocurrió en Chile y gran parte de Argentina, solo pudo observarse en algunas localidades (The Washington Post, 2020). La temperatura disminuyó al momento de la totalidad en la ruta del eclipse.

Los eclipses son fenómenos raros que pueden considerarse un experimento natural, por lo tanto, fue una oportunidad para conocer el efecto del Sol en la temperatura de la Tierra. En un período de tiempo muy corto provocó grandes cambios en la temperatura del aire y de la superficie. Gracias a las mediciones de diferentes fuentes fue posible conocer las variaciones del impacto del eclipse en diferentes localidades.

Además de los métodos tradicionales de registro de datos (estaciones meteorológicas, satélites, etc), las aplicaciones para celular permitieron recopilar datos de valor para la ciencia brindando la oportunidad de participación a la sociedad como científicos ciudadanos. Además, este método aumenta la extensión espacial y la densidad de muestreo (Amos, et al, 2020) especialmente importantes en eventos de gran extensión y corta duración como es el caso de los eclipses de sol.

Debido a la pandemia por covid-19 los gobiernos locales establecieron muchas restricciones para viajar a la zona del eclipse, limitando la cantidad de mediciones y de investigaciones científicas. Los últimos eclipses generaron interés en el público, y ayudaron a la difusión de la ciencia ciudadana. A futuro se recomienda realizar campañas previas en los próximos eclipses en diferentes sitios del mundo para conocer mejor la meteorología de los eclipses.

El trabajo con mentores aportó mucha información sobre el eclipse y la astronomía en general. También ayudó en la selección de datos y el procesamiento de los mismos para la investigación.

### **Bibliografía:**

Adams, M., Unterman, N., Carr, C., Rosenberg, J., Valsamis, A., Dallal, T., Matten, T., Miller, J. & Sears, A. (2019, July). QuarkNet Coordination of a Cosmic Ray Experiment Outreach Project During a Total Solar Eclipse. In *36th International Cosmic Ray Conference (ICRC2019)* (Vol. 36, p. 1045).

Amos, H. M., Starke, M. J., Rogerson, T. M., Colón Robles, M., Andersen, T., Boger, R., Campbell, B. A., Low, R. D., Nelson, P., Overoye, D., Taylor, J. E., Weaver, K. L., Ferrel, T. M., Kohl, H. & Schwerin, T. G. (2020). GLOBE Observer data: 2016–2019. *Earth and Space Science*, 7(8), e2020EA001175. <https://doi.org/10.1029/2020EA001175>

Aplin, K. L., Scott, C. J., & Gray, S. L. (2016). Atmospheric changes from solar eclipses. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2077), 20150217. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0217>

Araya-Pizarro, S. (2020). Astroturismo como alternativa estratégica de dinamización territorial: el caso de la Región Estrella de Chile. *Economía y Sociedad*, 25(58), 1-21. <https://doi.org/10.15359/eys.25-58.2>

Axani, S. N., Frankiewicz, K., & Conrad, J. M. (2018). The CosmicWatch Desktop Muon Detector: a self-contained, pocket sized particle detector. *Journal of Instrumentation*, 13(03), P03019. Retrieved 25 February 2021, from <https://arxiv.org/pdf/1801.03029.pdf>

Benítez de Lugo, M. A. (2011). Cien años de rayos cósmicos. *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat. (Esp)* Vol. 105, Nº. 1, pp 107-128

Bennett, A. J. (2016). Effects of the March 2015 solar eclipse on near-surface atmospheric electricity. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2077), 20150215. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0215>

Bhaskar, A., Purohit, A., Hemalatha, M., Pai, C., Raghav, A., Gurada, C., Radha, S., Yadav, V., Desai, V., Chitnis, A., Sarpotdar, P. & Patankar, A. (2011). A study of secondary cosmic ray flux variation during the annular eclipse of 15 January 2010 at Rameswaram, India. *Astroparticle Physics*, 35(5), 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2011.08.003>

Carlowicz M (2020). *Shadows from a Solar Eclipse*. NASA earth observatory. Retrieved 7 March 2021, from <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147659/shadows-from-a-solar-eclipse>

CONICET. (2021). *Observatorio de rayos cósmicos Pierre Auger: El cielo a sus pies. Astrofísica de partículas*. Buenos Aires: CONICET - PHDI - Dirección de Relaciones Institucionales. Retrieved 22 February 2021, from <https://www.conicet.gov.ar/observatorio-de-rayos-cosmicos-pierre-auger-el-cielo-a-sus-pies/>

Dodson, J. B., Robles, M. C., Taylor, J. E., DeFontes, C. C., & Weaver, K. L. (2019). Eclipse across America: Citizen science observations of the 21 August 2017 total solar eclipse. *Journal*

of *Applied Meteorology and Climatology*, 58(11), 2363-2385. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0297.1>

Dyson, F. W., Eddington, A. S., & Davidson, C. (1920). IX. A determination of the deflection of light by the Sun's gravitational field, from observations made at the total eclipse of May 29, 1919. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 220(571-581), 291-333. <https://doi.org/10.1098/rsta.1920.0009>

Finarelli, M. G. (1998). GLOBE: A worldwide environmental science and education partnership. *Journal of Science Education and Technology*, 7(1), 77-84. <https://doi.org/10.1023/A:1022588216843>

Gerasopoulos, E., Zerefos, C. S., Tsagouri, I., Founda, D., Amiridis, V., Bais, A. F., Belenhaki, A., Christou, N., Economou, G., Kanakidou, M., Kramanos, A., Petrakis, M. & Zanis, P. (2008). The total solar eclipse of March 2006: overview. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(17), 5205-5220. <https://doi.org/10.5194/acp-8-5205-2008>

IAU Working Group on Solar Eclipses, (2021). *Program Group on Public Education at Solar Eclipses*. Retrieved 2 February 2021, from: <https://sites.williams.edu/iau-eclipses/>

INTA (2021) Sistema de información y gestión agrometeorológica - SIGA. Retrieved 10 February 2021, from <http://sigas2.inta.gob.ar/#/>

ITeDA (2021). *Stand de ITeDA en tecnópolis | ITeDA*. Iteda.cnea.gov.ar. Retrieved 11 February 2021, from <http://www.iteda.cnea.gov.ar/?q=node/28>.

Jubier, X. (2021). *NASA - Total Solar Eclipse of 2020 Dec 14*. Eclipse.gsfc.nasa.gov. Retrieved 21 February 2021, from <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEgoogle/SEgoogle2001/SE2020Dec14Tgoogle.html>

Kandemir, G., Güçlü, M. C., Geckinli, M., Firat, C., Boydag, S., Özgüc, A., & Yasar, T. (2000). Variation of cosmic ray intensity during the solar eclipse August 11, 1999. In *Last Total Solar Eclipse of the Millennium* (Vol. 205, p. 202). Retrieved 28 February 2021, from <http://adsabs.harvard.edu/pdf/2000ASPC..205..202K>

Kaya, M., & Atakisi, I. (2021). *Cosmic Ray Measurements*. Indico.cern.ch. Retrieved 9 February 2021, from [https://indico.cern.ch/event/405973/contributions/1852949/attachments/1242637/1828385/FCC\\_AydinUniv\\_cosmics\\_mithat.pdf](https://indico.cern.ch/event/405973/contributions/1852949/attachments/1242637/1828385/FCC_AydinUniv_cosmics_mithat.pdf).

Meteoblue (2021). Climate Junín de los Andes. Retrieved 5 March 2021, from <https://bit.ly/2OX0UfO>

Mikić, Z., Downs, C., Linker, JA, Caplan, RM, Mackay, DH, Upton, LA, Riley, P., Lionello, R., Török, T., Titov, V. S., Wijaya, J., PhDuckmüller, M., Pasachoff, J. M. & Carlos, W. (2018). Predicting the corona for the 21 August 2017 total solar eclipse. *Nature Astronomy*, 2(11), 913-921. <https://doi.org/10.1038/s41550-018-0562-5>

Modelo experimental WRF (2021). *Imágenes Satelitales GOES 16*. Grupo de Usuarios WRF. Retrieved 28 February 2021, from <https://wrf.ohmc.com.ar/goes/LST/2020121401/>

NASA (2021). *NASA Eclipse Web Site*. Eclipse.gsfc.nasa.gov. Retrieved 2 February 2021, from <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>

NASA Eclipse. (2021). *NASA - Five Millennium Catalog of Solar Eclipses*. Eclipse.gsfc.nasa.gov. Retrieved 22 February 2021, from <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/SEcatalog.html#cattab>

Nayak, P. K., Gupta, S. K., Jain, A., Mazumdar, I., Raha, S., Saha, S. K., Bobrov, A. V., Osipov, A & Shwartz, B. (2010). A study of the  $\gamma$ -ray flux during the total solar eclipse of 1 August 2008 at Novosibirsk, Russia. *Astroparticle Physics*, 32(6), 286-293.  
<https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2009.09.006>

Observatorio Pierre Auger. (2021). *¿Qué son los rayos cósmicos?* - Observatorio Pierre Auger. Retrieved 11 February 2021, from <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/ique-son-los-rayos-cosmicos-2/>

Pakkattil, A., Muhsin, M., John, S., SaseenPhDan, A., Thomas, A. P., Deepa, V., & Varma, R. (2020). Trace pollutant fluctuations observed in Calicut city, India, during the annular solar eclipse on 26 December 2019. *Atmospheric Pollution Research*, 11(11), 2049-2055.  
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.07.026>

Paolantonio, S y Camino, N. (2020). *Eclipse total de Sol del 14 de diciembre de 2020*. 1a ed. Córdoba: Santiago Paolantonio

Paolantonio, S. (2021). *Observaciones de eclipses de Sol realizadas en Argentina (1810 – 1950) I*. Historia de la Astronomía. Retrieved 9 February 2021, from <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/eclipses/>

Penaloza-Murillo, M. A., Elmhamdi, A., Pasachoff, J. M., Roman, M. T., Liu, Y., Al-Mostafa, Z. A., Magharabi, A. H. & Al-Trabulsy, H. A. (2020). Air temperature and humidity during the solar eclipses of 26 December 2019 and of 21 June 2020 in Saudi Arabia and in other eclipses with similar environments. <https://arxiv.org/abs/2011.11460>

Pérez Fogwill, G. A., Copes, G. E., Ferrara, J., & Luccini, E. (2020). Mediciones de Radiación Solar durante el Eclipse Solar Total 2019. Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2020-68. Retrieved 10 February 2021, from [http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1313/Nota\\_Tecnica\\_SMN\\_2020-68.pdf](http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1313/Nota_Tecnica_SMN_2020-68.pdf)

Planetario Galileo Galilei. Buenos Aires (2020). *#Tiempo de eclipses 2019-2020*. Buenos Aires. Argentina

Raghav, A., Bhaskar, A., Yadav, V., & Bijewar, N. (2015). Low energy secondary cosmic ray flux (gamma rays) monitoring and it constrains. *Astrophysics and Space Science*, 355(2), 347-352.  
<https://doi.org/10.1007/s10509-014-2172-8>

Ros, R. M., & García, B. (2017). *Sol y Eclipses*. 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CONICET. Argentina

Rosnes, A., & Bellis, M. (2020). Evaluating the MIT Cosmic Watch detector as an educational resource. *Bulletin of the American Physical Society*, 65. Retrieved 25 February 2021, from <http://meetings.aps.org/Meeting/APR20/Session/D21.45>

SMN (2021). *Descarga del Catálogo de Datos Abiertos del SMN*. Retrieved 10 February 2021, from <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>

Tanaka, K. (2021). 宇宙線探究活動 探Qって? [Cosmic ray exploration activity What is exploration Q?] Retrieved 10 February 2021, from <https://tanq.kaduo.jp/>

The GLOBE Program (2021a). *Ciclo de seminarios web Eclipse 2020*. Retrieved 2 February 2021, from <https://www.globe.gov/es/web/argentina/home/events/-/eventsdetail/14034/ciclo-de-seminarios-web-eclipse-20-1>.

The GLOBE Program (2021b). GLOBE Visualization System. Retrieved 10 February 2021, from <https://vis.globe.gov/GLOBE/>

The Washington Post (2020, December 15) *How an 'atmospheric river' spoiled Monday's total solar eclipse*. Retrieved 7 March 2021, from <https://www.washingtonpost.com/weather/2020/12/15/atmospheric-river-total-solar-eclipse-chile/>

Timeanddate.com (2021a). *Map of Total Solar Eclipse on 14 de diciembre de 2020*. Retrieved 8 February 2021, from <https://www.timeanddate.com/eclipse/map/2020-december-14>

Timeanddate.com (2021b). *What Are Total Solar Eclipses?* Retrieved 8 February 2021, from <https://www.timeanddate.com/eclipse/total-solar-eclipse.html>

UNCo/FAIN - Departamento de Física (2020) *Conferencias: Encuentros a la puesta del Sol*. (2021). Retrieved 2 February 2021, from <https://eclipse2020.uncoma.edu.ar/index.php/conferencias/>

Wood, J. D., Sadler, E. J., Fox, N. I., Greer, S. T., Gu, L., Guinan, P. E., Lupo, A. R., Market, P. S, Rochette, S.M., Spec, A. & White, L. D. (2019). Land-atmosphere responses to a total solar eclipse in three ecosystems with contrasting structure and physiology. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(2), 530-543. <https://doi.org/10.1029/2018JD029630>

Wunderground (2021b). *Wundermap*. Retrieved 10 February 2021, from <https://www.wunderground.com/wundermap>

Wunderground (2021a). *Junin de los Andes, Neuquen, Patagonia Argentina - INEUQUNJ4 - Elev 2562 ft, 39.95 °S, 71.08 °W*. Retrieved 10 February 2021, from <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/INEUQUNJ4/table/2020-12-14/2020-12-14/daily>

### **Agradecimientos:**

Queremos agradecer la capacitación recibida sobre astronomía, eclipses y el asesoramiento para obtener información de diferentes fuentes por parte del Programa GLOBE, la NASA y la Universidad Nacional del Comahue. Agradecemos especialmente a PhDa. Marilé Colón Robles, Ph.D. Roberto Rondanelli, PhDa. Kristen Weaver, PhDa. Jessica Taylor, PhDa. Silvia Guidoni, por los webinars y las respuestas a nuestras consultas y dudas durante la realización del trabajo. A la PhDa. Dorian W Janney y al Prof. Albert Ortiz por ayudarnos en la búsqueda de información meteorológica en la ruta del eclipse. A la PhDa. Susana Ramos por incluirnos en la capacitación sobre astronomía y eclipse dictada en la Universidad Nacional del Comahue y a la PhDa. Beatriz



García por compartir sus conocimientos y didáctica de la astronomía durante la capacitación de NASE. A la PhDa. Emma Hagen y a PhDa. Dorian W Janney por la ayuda en la elaboración de la presentación con nuevo formato. También a PhD. Kazuo Tanaka por proporcionarnos el detector de rayos cósmicos y ayudarnos con el análisis, a PhD. Nate Unterman, PhD. Mark Adams and PhD. Kenneth Cecire por ayudarnos con el plan de investigación y análisis de rayos cósmicos. Finalmente agradecemos a NASA y a la ONG Astrónomos sin Fronteras por la donación de lentes para visualizar el eclipse que nos permitió a nosotros y a gran parte de estudiantes y docentes de la ciudad observar el eclipse en forma segura.

### **Descripciones/Justificaciones de insignias:**

#### **Be a Data Scientist / Científico de datos**

A partir de la experiencia de registrar variables meteorológicas durante el eclipse total de sol del 2 de julio de 2019 y la capacitación recibida en la serie de webinars y cursos y otros eventos para difundir el eclipse del 14 de diciembre 2020 los estudiantes pudieron elaborar sus preguntas de investigación, diseñar y ejecutar el plan de investigación. Ellos registraron los cambios de temperaturas, cobertura de nubes y flujo de rayos cósmicos el día del eclipse y los días anterior y posterior para comparar. También realizaron una búsqueda exhaustiva de datos registrados por otras personas e instituciones en la ruta del eclipse. Los estudiantes pudieron graficar sus datos comparar con el estado pre y post eclipse para analizarlos y responder las preguntas de investigación. Las dudas fueron consultadas y discutidas con especialistas del Programa GLOBE. También realizaron sugerencias para futuras investigaciones. En síntesis, ellos pudieron trabajar como científicos de datos.

#### **Be a STEM Professional / Profesional STEM**

Gracias al trabajo con mentores STEM Programa GLOBE, de NASA y de la Universidad Nacional del Comahue los estudiantes mejoraron sus métodos de investigación, diseñar su investigación, mejorar la precisión en la toma de datos y análisis de los mismos. Además de redactar su reporte de investigación, realizaron por primera vez una presentación en formato de Story Map.

#### **I am a collaborator / Ser un colaborador/ra**

Los estudiantes colaboraron con otros miembros del programa GLOBE compartiendo sus mediciones, pero también lo hicieron participando en el Taller sobre el eclipse que se desarrolló en la ciudad, previo a la pandemia de coronavirus y del Ciclo de seminarios web – Eclipse 2020. Colaboramos además en la difusión del evento y de las medidas de seguridad para observarlo, informamos sobre cómo proyectar la sombra del eclipse para realizar observaciones indirectas y colaboramos realizando la distribución de lentes especiales para ver el eclipse en la ciudad de Junín de los Andes y San Martín de los Andes, Argentina.