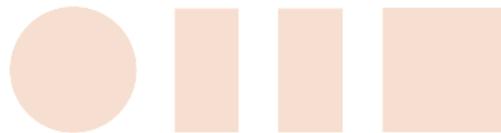


Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior

**Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática
Industrial**



Trabajo Fin de Grado

Detección de anomalías en radio espectrómetros solares
mediante métodos estadísticos



ESCUELA POLITECNICA

Autor: Álvaro Mas Grande

Tutor y cotutor: Manuel Prieto Mateo y Pablo Muñoz
Martínez

2022

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial

Trabajo Fin de Grado

**Detección de anomalías en radio espectrómetros solares
mediante métodos estadísticos**

Autor: Álvaro Mas Grande

Tutor: Manuel Prieto Mateo

Cotutor: Pablo Muñoz Martínez

Tribunal:

Presidente:

Vocal 1º:

Vocal 2º:

Fecha de depósito:

RESUMEN.

La organización científica e-CALLISTO es una cadena de estaciones de observación solar que siguen al Sol 24 horas al día. Estas estaciones detectan ráfagas de radio solar mediante espectrómetros solares.

En la primera parte del trabajo, se desarrollará una serie de programas en lenguaje Python en la que se descargará y analizará todos los espectrogramas resultantes de esta organización.

En la segunda parte del trabajo, mediante métodos estadísticos se buscará tendencias o patrones de las ráfagas solares para mejorar y aumentar la detección de ráfagas solares de las estaciones de esta organización, en especial, las que se encuentran en España.

Palabras clave: ráfaga solar, estación, detección, e-CALLISTO, NOAA.

ABSTRACT.

The scientific organization e-CALLISTO is a chain of solar observation stations that follow the Sun 24 hours a day. These stations detect solar radio bursts using solar spectrometers.

In the first part of the work, a series of programs will be developed in Python language in which all the spectrograms resulting from this organization will be downloaded and analyzed.

In the second part of the work, by means of statistical methods, trends or patterns of solar bursts will be sought to improve and increase the detection of solar bursts from the stations of this organization, especially those located in Spain.

Keywords: burst, station, detection, e-CALLISTO, NOAA.

ÍNDICE GENERAL.

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. HERRAMIENTAS.....	4
3.1. e-CALLISTO.	4
3.1.1. Formato y extracción de datos.	5
3.2. NOAA.	5
3.2.1. Formato y extracción de datos.	5
3.3. Estaciones de observación solar.	6
4. METODOLOGÍA.....	9
4.1. Extracción de ráfagas solares.....	9
4.1.1. Espectrogramas y ráfagas solares.	9
4.1.2. Ruidos o interferencias externas.	10
4.1.3. Idea de programación.	12
4.1.4. Información extraída para el posterior análisis estadístico.....	14
4.2. Análisis estadístico.	16
5. ENTORNO DE PROGRAMACIÓN.....	17
5.1. Anaconda y Spyder.	17
5.2. <i>Scripts</i> de Python.....	17
5.2.1. <i>Scripts</i> para la descarga de archivos e-CALLISTO.	18
5.2.2. <i>Scripts</i> para el análisis de archivos e-CALLISTO.	19
5.2.3. <i>Scripts</i> para el análisis de archivos NOAA.	23
5.3. Librerías necesarias.	25

6.	MANUAL DE USUARIO.....	26
6.1.	Descarga de archivos e-CALLISTO.....	26
6.2.	Análisis de archivos e-CALLISTO.....	28
6.3.	Descarga de archivos NOAA.....	28
6.4.	Análisis de archivos NOAA.	28
7.	RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	29
7.1.	Introducción.	29
7.2.	Intensidad.	29
7.2.1.	Filtro por frecuencia.	31
7.2.2.	Filtro por meses.	32
7.2.3.	Filtro por horas.	34
7.2.4.	Filtro por cuartos.	36
7.2.5.	Filtro por la posición en la imagen.	37
7.2.6.	Filtro por duración.....	39
7.3.	Duración.....	42
7.4.	Frecuencia.	43
7.5.	Meses.	44
7.6.	Horas.	45
7.6.1.	Filtro por meses.	45
7.7.	Cuartos.	47
7.8.	Posición en la imagen.....	48
7.9.	Resumen de los resultados.....	48

8. CAPACIDAD DE DETECCIÓN.	52
8.1. Ráfagas solares detectadas y no detectadas.	55
8.2. Ráfagas solares detectadas y falsos positivos.	59
8.3. Estimaciones.....	63
9. CONCLUSIONES.....	65
10. REFERENCIAS.....	67
11. ANEXOS.....	68
11.1. ANEXO 1. Ejemplo de archivo de texto proporcionado por NOAA.	68

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Todas las estaciones pertenecientes a la red e-CALLISTO.....	4
Figura 2. Horas de sol durante el día dependiendo del mes de la red e-CALLISTO..	7
Figura 3. Horas de sol durante el día dependiendo del mes de la red NOAA. '	8
Figura 4. Estaciones en Europa y Australia.....	8
Figura 5. Ejemplo de espectrograma de la red e-CALLISTO.....	10
Figura 6. RFI detectada en la parte baja del espectrograma.....	11
Figura 7. Ruido del receptor por mal funcionamiento del amplificador.	11
Figura 8. Ejemplo de matriz con los tres parámetros fundamentales proporcionados por los espectrogramas de la red e-CALLISTO.	12
Figura 9. Dependencias y orden de funcionamiento de los scripts.	17
Figura 10. Primer tipo de excepción.....	22
Figura 11. Segundo tipo de excepción.....	22
Figura 12. Consola de mando, menú desplegable al ejecutar el script 'main.py'.....	26
Figura 13. Consola de mando dando la opción al tipo de extensión de los archivos descargables.	26
Figura 14. Consola de mando dando la opción las fechas de descarga de los archivos.	27
Figura 15. Consola de mando dando la opción de la estación para la descarga de los archivos..	27
Figura 16. Consola de mando, últimas instrucciones para la descarga de los archivos.....	28
Figura 17. Ejemplo visual de la extracción de ráfagas solares detectadas, no detectadas y falsos positivos.	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. Diagramas de caja según la intensidad..	29
Gráfico 2. Diagramas de caja según la duración.....	42

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Localización de las estaciones de observación solar de la red e-CALLISTO.	6
Tabla 2. Frecuencia de las estaciones de observación solar de la red e-CALLISTO.	6
Tabla 3. Localización de las estaciones de observación solar de la red NOAA.	8
Tabla 4. Rango de frecuencia de las estaciones de observación solar de la red NOAA.	8
Tabla 5. Librerías necesarias para usar los scripts.	25
Tabla 6. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad.	29
Tabla 7. Datos de los diagramas de caja según la intensidad.	30
Tabla 8. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por frecuencia de 90-15 MHz.	31
Tabla 9. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por frecuencia de 180-45 MHz.	31
Tabla 10. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por frecuencia de 525-110 MHz.	32
Tabla 11. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por meses de enero a marzo.	32
Tabla 12. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por meses de abril a junio.	33
Tabla 13. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por meses de julio a septiembre.	33
Tabla 14. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por meses de octubre a diciembre.	33
Tabla 15. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por horas de 0h a 5h UTC.	34
Tabla 16. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por horas de 6h a 11h UTC.	34

Tabla 17. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por horas de 12h a 17h UTC.	35
Tabla 18. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por horas de 18h a 23h UTC.	35
Tabla 19. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por el primer cuarto de hora.....	36
Tabla 20. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por el segundo cuarto de hora.....	36
Tabla 21. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por el tercer cuarto de hora.....	37
Tabla 22. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por el último cuarto de hora.....	37
Tabla 23. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por la posición en la imagen muy a la izquierda.....	37
Tabla 24. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por la posición en la imagen a la izquierda.	38
Tabla 25. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por la posición centrada en la imagen.....	38
Tabla 26. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por la posición en la imagen a la derecha.	39
Tabla 27. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por la posición en la imagen muy a la derecha.	39
Tabla 28. Valores absolutos (valores relativos) de la red e-CALLISTO según la intensidad y filtrado por la duración de 0 a 4 segundos.	39
Tabla 29. Valores absolutos (valores relativos) de la red e-CALLISTO según la intensidad y filtrado por la duración de 5 a 14 segundos.	40
Tabla 30. Valores absolutos (valores relativos) de la red e-CALLISTO según la intensidad y filtrado por la duración de 15 a 59 segundos.	40

Tabla 31. Valores absolutos (valores relativos) de la red e-CALLISTO según la intensidad y filtrado por la duración de 60 segundos o más.	41
Tabla 32. Valores absolutos (valores relativos) de la red NOAA según la intensidad y filtrado por la duración de menos de 60 segundos.	41
Tabla 33. Valores absolutos (valores relativos) de la red NOAA según la intensidad y filtrado por la duración de 60 segundos o más.	41
Tabla 34. Valores absolutos (valores relativos) según la duración de la red e-CALLISTO.....	42
Tabla 35. Valores absolutos (valores relativos) según la duración de la red NOAA.	42
Tabla 36. Datos de los diagramas de cajas según la duración.....	43
Tabla 37. Valores absolutos (valores relativos) según la frecuencia.....	43
Tabla 38. Valores absolutos (valores relativos) según el mes.....	44
Tabla 39. Valores absolutos (valores relativos) según la hora.	45
Tabla 40. Valores absolutos (valores relativos) según la hora y filtrado de enero a marzo.....	45
Tabla 41. Valores absolutos (valores relativos) según la hora y filtrado de abril a junio.	46
Tabla 42. Valores absolutos (valores relativos) según la hora y filtrado de julio a septiembre...	46
Tabla 43. Valores absolutos (valores relativos) según la hora y filtrado de octubre a diciembre.	47
Tabla 44. Valores absolutos (valores relativos) según el cuarto de hora.	47
Tabla 45. Valores absolutos (valores relativos) según la posición en la imagen.....	48
Tabla 46. Resumen de los resultados. Parte 1.....	48
Tabla 47. Resumen de los resultados. Parte 2.....	49
Tabla 48. Total de las ráfagas solares detectadas por medio de los valores reales.	53
Tabla 49. Total de las ráfagas solares detectadas por medio de los valores de la muestra.	54
Tabla 50. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y no detectadas de la estación de Australia.	55

Tabla 51. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y no detectadas de la estación de Glasgow.	56
Tabla 52. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y no detectadas de la estación de Peralejos.	57
Tabla 53. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y no detectadas totales de las tres estaciones utilizadas.	58
Tabla 54. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y falsos positivos de la estación de Australia.	59
Tabla 55. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y falsos positivos de la estación de Glasgow.	60
Tabla 56. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y falsos positivos de la estación de Peralejos.	61
Tabla 57. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y falsos positivos totales de las tres estaciones utilizadas.	62
Tabla 58. Ejemplo de estimación generalizada del proyecto para otras estaciones de la red e-CALLISTO.	63

LISTA DE ACRÓNIMOS.

CELESTINA Castillian E-Callisto Leading Experimentation in SolarTerrestrial Interaction with Novel Antennas.

e-CALLISTO Compound Astronomical Low frequency Low cost Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory.

FE Fondo de escala.

FITS Flexible Image Transport System.

FTP File Transfer Protocol.

GZ Archivo GNU Zipped.

ISWI International Space Weather Initiative.

LEA Learmonth – Australia.

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration.

NPY Archivo NumPy.

PNG Portable Network Graphics.

RFI Ruidos o interferencias electromagnéticas.

RSP Sweep-frequency radio burst.

SVI San Vito – Italia.

UNOOSA United Nations Office for Outer Space Affairs.

UTC Coordinated Universal Time.

1. INTRODUCCIÓN.

Este trabajo de fin de grado se centra en el análisis de las ondas de radio solares, las cuales son un conjunto de emisiones procedentes de las capas inferior y superior de la atmósfera solar.

Las ráfagas de radio solar es un evento de corta duración que ocurren continuamente en el astro del sistema solar y, en sí, no son peligrosos para La Tierra. Aunque, los mismos mecanismos que provocan las ráfagas solares pueden causar erupciones solares o eyecciones de masa coronal.

También, las ráfagas de radio solares son breves períodos durante los cuales la emisión de radio del Sol se eleva por encima del nivel de fondo. Éstas, pueden exceder el nivel de radiación de fondo solo levemente o en varios órdenes de magnitud dependiendo de una variedad de factores que incluyen: la cantidad de energía liberada, los parámetros del plasma de la región de la fuente y los medios a través de los cuales se propaga la radiación antes de ser observada. [1]

Un dato curioso, es que el Sol produce emisiones de radio a través de cuatro mecanismos conocidos, cada uno de los cuales funciona principalmente convirtiendo la energía de los electrones en movimiento en radiación. Los cuatro mecanismos de emisión son: emisión térmica bremsstrahlung, emisión giromagnética, emisión de plasma y emisión de maser de electrones-ciclotrón. Lo que en resumen indica que los dos primeros son culpables de las emisiones de fondo; [2] y los dos últimos pueden crear temperaturas de brillo (intensidades) muchos mayores, y son los principales responsables de los picos intensos de radiación. [3]

Para el desarrollo de la detección de anomalías en radio espectrómetros solares, se usará una metodología de análisis gracias a dos principales organizaciones: e-CALLISTO y NOAA. Estas dos organizaciones tienen bajo su control varios observatorios solares, llamados estaciones, dedicados a proporcionar información sobre las ráfagas solares. Luego, toda la información que se ha requerido para realizar este proyecto se ha obtenido gracias a sus bases de datos.

De manera general, el objetivo principal de este estudio es realizar un análisis estadístico en busca de tendencias o carencias, dentro de las estaciones analizadas, para que posteriormente, un experto aumente el rendimiento de la estación para dar con ráfagas solares de mayor intensidad y duración.

Además, este proyecto es capaz de automatizar la detección de ráfagas solares que hoy en día son realizadas por un humano, analizando visualmente cada espectrograma. No obstante, es esencial puntualizar que llevar a cabo esta investigación requiere de constancia, ya que hay una gran variación de datos que han de ser descargados con unos 15 minutos de asiduidad.

2. OBJETIVOS.

Este proyecto de investigación tiene como fin analizar estadísticamente las tendencias o carencias de datos obtenidos por la organización de e-CALLISTO. La cual, posee distintas estaciones repartidas por todo el mundo- Véase en la Figura 1.

Luego, el objetivo base es encontrar las ráfagas solares de cada estación. Para, posteriormente, poder elaborar un estudio estadístico de comparación de datos para poder elaborar un marco de tendencias y carencias repetidas en un amplio espacio geográfico. Y que esto sirva para que un profesional amplie el rendimiento de detección de ráfagas solares por estación solar.

Para alcanzar el objetivo principal, en primer lugar, se analizarán como se manifiestan las ráfagas solares en un espectrograma.

Acto seguido, mediante el lenguaje de programación Python, se deberá poder descargar los archivos de los espectrómetros procedentes de la red e-CALLISTO y se estudiará la manera de automatizar la extracción de los datos de interés (frecuencia, intensidad, duración, etc.) de las ráfagas solares detectadas.

Además, se deberán contrastar los resultados de la extracción de datos de interés con otras fuentes de datos al margen de los registrados por la red e-CALLISTO. Por ejemplo, la red NOAA.

A continuación, se eligen las estaciones a analizar, aunque es importante puntualizar que este procedimiento sirve para cualquier estudio de estación procedente de la red e-CALLISTO. Sin embargo, encuentro necesario contextualizar el estudio en las estaciones de: Australia-ASSA, Glasgow, y Peralejos.

La relevancia de la estación de Peralejos se debe a que pertenece a la red e-CALLISTO y al proyecto CELESTINA. CELESTINA (*Castillian E-Callisto Leading Experimentation in Solar-Terrestrial Interaction with Novel Antennas*) es un proyecto del Grupo de Investigación Espacial de la Universidad de Alcalá (<http://www.srg.uah.es>) que tiene como objetivo principal liderar desde Castilla-La Mancha la participación y contribución científico-técnica de España, como miembro permanente, a la red internacional de radiotelescopios e-CALLISTO.

Asimismo, las estaciones de Australia-ASSA y Glasgow han sido elegidas debido a su alta detección de ráfagas solares.

Una vez extraídos toda la información de cada estación que se quiere analizar por medio de los programas de Python. Esta información vendrá en datos continuos o en datos agrupados para hacer el análisis más manejable.

Para realizar el análisis estadístico, con los datos continuos se analizarán medias, modas, medianas... muy útil el diagrama *box-plot* donde enseña la agrupación de manera muy visual.

Con los datos agrupados se analizarán frecuencias, carencias... muy útil los histogramas donde enseña la agrupación de manera muy visual. Además, los parámetros más importantes se filtrarán por otros parámetros para analizar más en detalle sobre estos.

3. HERRAMIENTAS.

En este punto se va a desarrollar de manera más amplia las distintas herramientas que se han utilizado para poder elaborar este estudio de detección de ráfagas solares. En primer lugar y, en segundo lugar, se abordará una explicación sobre el formato y extracción de datos tanto de la principal herramienta usada en el presente proyecto, la red e-CALLISTO, como la red NOAA.

En tercer y último lugar, también es relevante destacar las distintas estaciones de observación solar en las que se centrará esta investigación.

3.1. e-CALLISTO.

e-CALLISTO (<http://www.e-callisto.org>) es una cadena de estaciones de observación solar en ondas de radio repartidas por todo el mundo para poder seguir el Sol 24 horas al día.

Esta organización fue creada por el profesor Christian Monstein (Instituto Politécnico de Zurich e Instituto de Investigación Solar de Locarno) a raíz del Año Heliofísico Internacional (2007) bajo el patrocinio de UNOOSA (*United Nations Office for Outer Space Affairs*) y forma parte de la Iniciativa Internacional en Meteorología Espacial (ISWI, <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/bssi/iswi.html>). [4]

El objetivo de e-CALLISTO es el desarrollo del conocimiento científico necesario para entender y predecir la meteorología espacial cercana al planeta Tierra. Para destacar la magnitud de esta organización se puede observar en la Figura 1 las 68 estaciones que tienen en su proyecto.

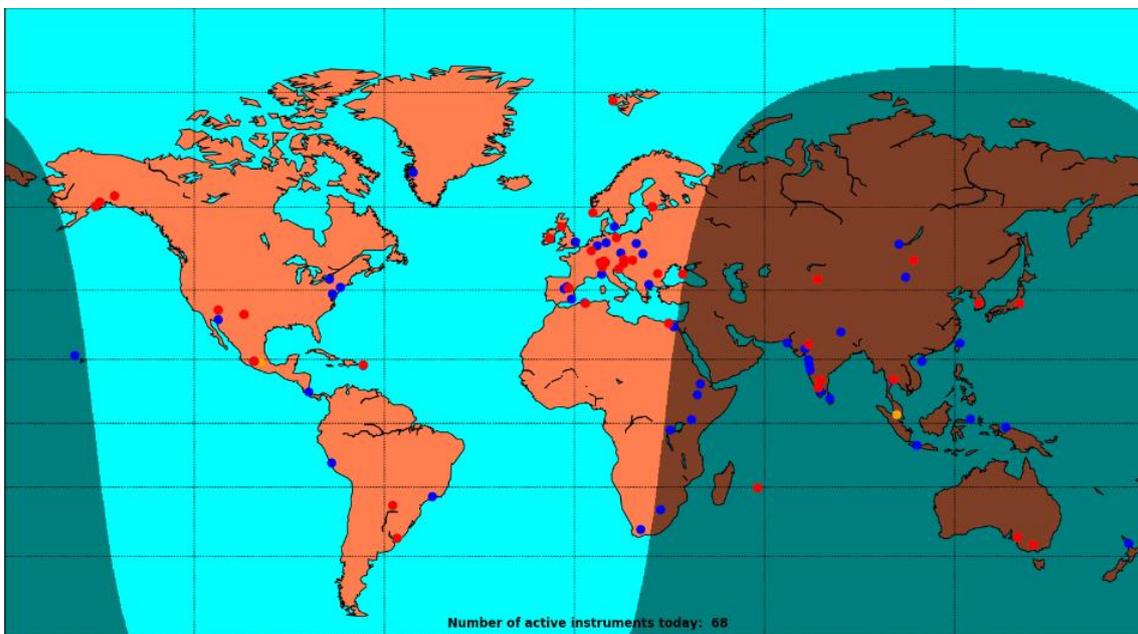


Figura 1. Todas las estaciones pertenecientes a la red e-CALLISTO.

3.1.1. Formato y extracción de datos.

Toda la información de la red e-CALLISTO se encuentra en su página web (<http://www.e-callisto.org>). Concretamente, el registro de los espectrogramas y todo lo relacionado con ello se encuentra en el apartado ‘Data’ (<https://e-callisto.org/Data/data.html>). En este apartado se pueden encontrar listas de sucesos de ráfagas de radio solares, archivos FITS de los espectrogramas y una previsualización del espectrograma.

Para descargar los espectrogramas desde la web solamente tendremos las opciones de archivo PNG o archivo GZ. Este último archivo es el archivo FITS comprimido. En nuestro proyecto nos interesa trabajar con los archivos comprimidos dado que eso significa menos espacio de almacenamiento.

3.2. NOAA.

Para poder contrastar los resultados con otras fuentes de datos al margen de los registrados por la red e-CALLISTO, se usará la fuente de “La Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica” (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA).

NOAA es una agencia científica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos y es responsable de describir y predecir los cambios en el medio ambiente mediante la investigación de los océanos, la atmósfera, el espacio y el Sol. [5]

3.2.1. Formato y extracción de datos.

De la página oficial de NOAA, en el apartado ‘*Solar and Geophysical Event Reports*’ (<https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-and-geophysical-event-reports>) se registran todos los eventos solares a lo largo del día, actualizándose cada cinco minutos. Todos los datos de NOAA se guardan en archivos de texto que se deben descargar por FTP.

Aunque en los archivos de texto proporcionados por NOAA registran todos los eventos solares, para este proyecto, solo hay que fijarse en las ráfagas de radio solar y esta se distingue en el apartado ‘Type’ como ‘RSP’ (*Sweep-frequency radio burst*). Ver Anexo 1.

3.3. Estaciones de observación solar.

La red e-CALLISTO nos ofrece una gran cantidad de estaciones de observación solar posicionadas estratégicamente por todo el planeta. Todas las estaciones se encuentran en una localización remota, lejos de la civilización, buscando una baja interferencia.

De todas las estaciones disponibles por e-CALLISTO, se ha utilizado la estación de ‘SPAIN-PERALEJOS’ porque es la protagonista de este proyecto en el que se busca mejorar su rendimiento en la detección de ráfagas solares. Además, se han utilizado ‘AUSTRALIA-ASSA’ y ‘GLASGOW’ porque son de las estaciones que mejor funcionan en la red e-CALLISTO y de las que más ráfagas solares detecta.

La estación de ‘GLASGOW’ es de gran interés debido a que se encuentra, prácticamente, en el mismo huso horario que la estación de ‘SPAIN-PERALEJOS’ y la estación ‘AUSTRALIA-ASSA’ también es de interés para encontrar patrones, tendencias, etc.

La Tabla 1 recoge la localización de las estaciones usadas en el proyecto.

Estación	Latitud	N/S	Longitud	W/E
SPAIN-PERALEJOS	40,58	N	1,92	W
AUSTRALIA-ASSA	34,6626	S	139,637	E
GLASGOW	55,9	N	4,3	W

Tabla 1. Localización de las estaciones de observación solar de la red e-CALLISTO.

Cada estación de observación solar de la red e-CALLISTO trabaja con diferentes antenas que registran diferentes tipos de frecuencias. La Tabla 2 recoge el tipo de frecuencia en la que trabaja cada estación.

Estación	Frecuencia
SPAIN-PERALEJOS	76-17 MHz 88-17 MHz 176-45 MHz 868-45 MHz
AUSTRALIA-ASSA	86-14 MHz 86-15 MHz 116-44 MHz 523-107 MHz 526-110 MHz
GLASGOW	80-45 MHz

Tabla 2. Frecuencia de las estaciones de observación solar de la red e-CALLISTO.

Las horas de sol recibidas por cada estación es distinta dependiendo de su localización. La Figura 2 recoge las horas de sol de cada estación durante un día dependiendo del mes. [6]

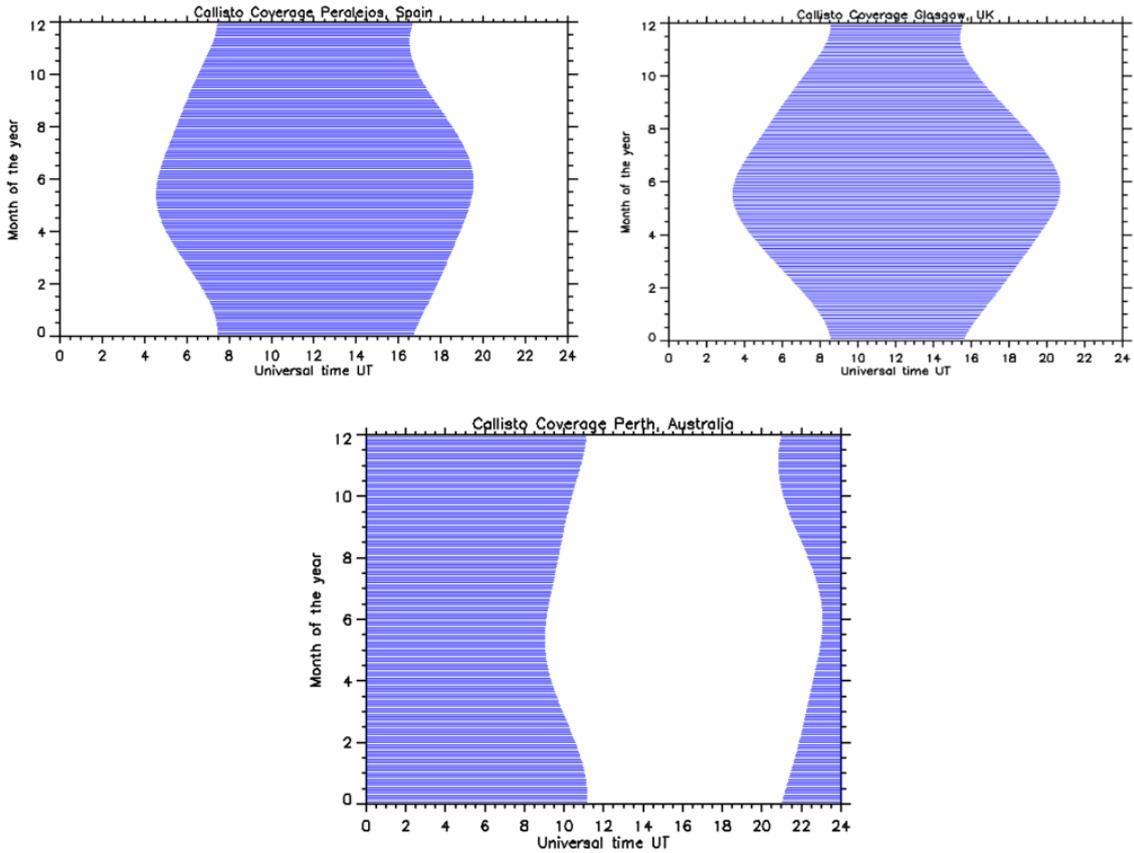


Figura 2. Horas de sol durante el día dependiendo del mes de la red e-CALLISTO. Arriba a la izquierda corresponde con la estación 'SPAIN-PERALEJOS'. Arriba a la derecha corresponde con la estación 'GLASGOW'. Abajo corresponde con la estación 'AUSTRALIA-ASSA'.

La red NOAA solo ofrece 7 estaciones, de las cuales 4 se encuentran en Estados Unidos. Al usar la red NOAA para poder contrastar los datos de e-CALLISTO, se usarán las estaciones con la zona horaria más parecida con las estaciones seleccionadas de la red e-CALLISTO.

Por ello, se han elegido dos estaciones. 'LEA' que se encuentra en Learmonth-Australia y 'SVI' que se encuentra en San Vito-Italia.

La Tabla 3 recoge la localización de las estaciones de la red NOAA. La Tabla 4 recoge el rango de frecuencias en la que trabaja cada estación de NOAA. La Figura 3 recoge las horas de sol de cada estación durante un día dependiendo del mes.

Estación	Latitud	N/S	Longitud	W/E
LEA	22,2406	S	114,096	E
SVI	39,2331	N	9,05	E

Tabla 3. Localización de las estaciones de observación solar de la red NOAA.

Estación	Frecuencia
LEA	90-15 MHz 180-45 MHz
SVI	90-15 MHz 180-45 MHz

Tabla 4. Rango de frecuencia de las estaciones de observación solar de la red NOAA.

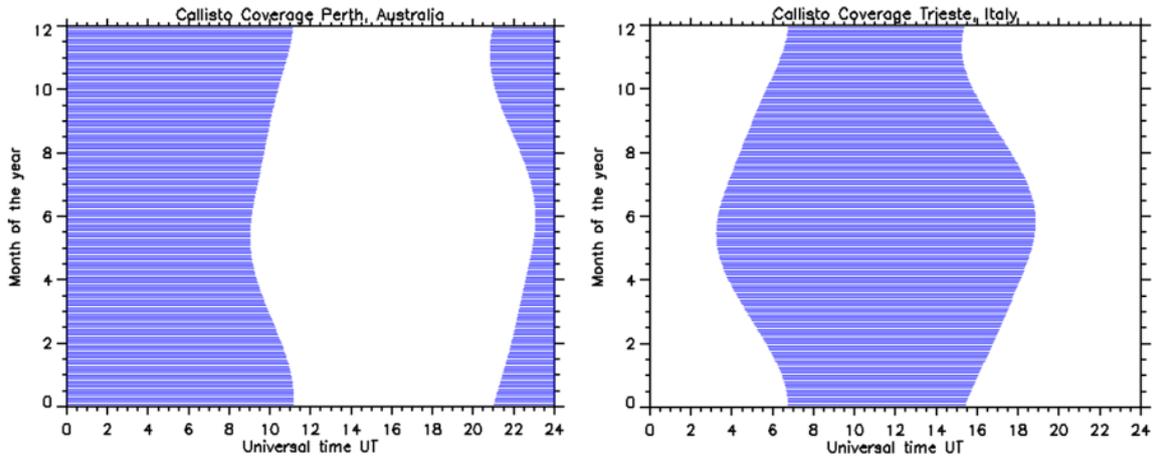


Figura 3. Horas de sol durante el día dependiendo del mes de la red NOAA. A la izquierda corresponde con la estación 'AUSTRALIA-ASSA' que se asemeja a la estación 'LEA'. A la derecha corresponde con la estación 'TRIEST' que se asemeja a la estación 'SVI'.

En la Figura 4 se observa de manera gráfica las estaciones solares analizadas que se encuentran en Europa y Australia.



Figura 4. Estaciones en Europa y Australia.

4. METODOLOGÍA.

Ahora que ya conocemos las herramientas que se van a usar en el proyecto que nos proporcionará toda la información necesaria y las estaciones en las que se van a realizar el análisis estadístico se desarrollará la metodología a seguir.

Para abordar el objetivo principal del proyecto, se ha dividido en dos partes fundamentales. En primer lugar, la extracción de ráfagas solares y toda la información relevante mediante lenguaje de programación y, en segundo lugar, un estudio analítico de los resultados.

Concretamente, se ha seguido los siguientes pasos en orden:

- Como leer un espectrograma, sus parámetros fundamentales y como se manifiesta una ráfaga solar dentro de él.
- Los posibles problemas a la hora de detectar ráfagas solares.
- Mediante programación como detectar una ráfaga solar procedente de la red e-CALLISTO.
- Mediante programación como detectar una ráfaga solar procedente de la red NOAA.
- Que información es importante de extraer cuando se ha detectado una ráfaga solar, para su posterior análisis estadístico.
- Análisis estadístico para detectar anomalías, carencias o tendencias.

4.1. Extracción de ráfagas solares.

4.1.1. Espectrogramas y ráfagas solares.

Los espectrogramas de la red e-CALLISTO se componen de tres ejes.

- Eje x, se encuentra el tiempo de observación en minutos según el tiempo universal coordinado o UTC. El intervalo de tiempo siempre es de 15 minutos.
- Eje y, se encuentra la frecuencia en megahercios. La frecuencia puede variar según la antena que registre el espectrograma.
- Eje z o fondo, se encuentra la intensidad en decibelios de la señal medida. A la derecha del espectrograma se señala la escala.
- Además, en la parte de arriba del espectrograma se encuentra la fecha, la estación y el código de la antena.

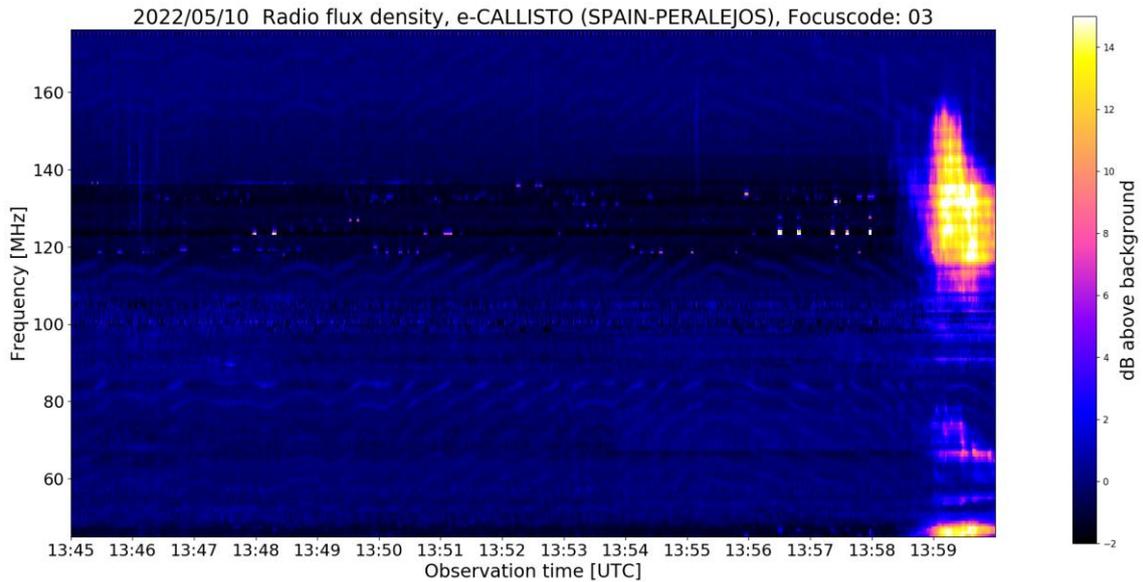


Figura 5. Ejemplo de espectrograma de la red e-CALLISTO.

Un ejemplo de espectrograma de la red e-CALLISTO es la Figura 5. De aquí se puede extraer que fue registrado el 10 de mayo de 2022 por la estación SPAIN-PERALEJOS y el código de la antena es 03. Además, el tiempo de observación empieza a las 13:45 UTC y acaba a las 14:00 UTC y la frecuencia de la antena empieza en un poco menos de 60 MHz hasta un poco más de 160 MHz. Por último, se observa una ráfaga solar de mayor intensidad al final del espectrograma entorno a las 13:59 UTC.

4.1.2. Ruidos o interferencias externas.

La detección de las ráfagas solares en espectrómetros no está exenta de ruidos o interferencias electromagnéticas (RFI), aunque se busca reducirlo lo máximo posible.

Las interferencias electromagnéticas locales que interfieren en el espectrómetro se identifican en el espectro como líneas horizontales. Véase en la Figura 6 de los 15 MHz a los 30MHz de frecuencia.

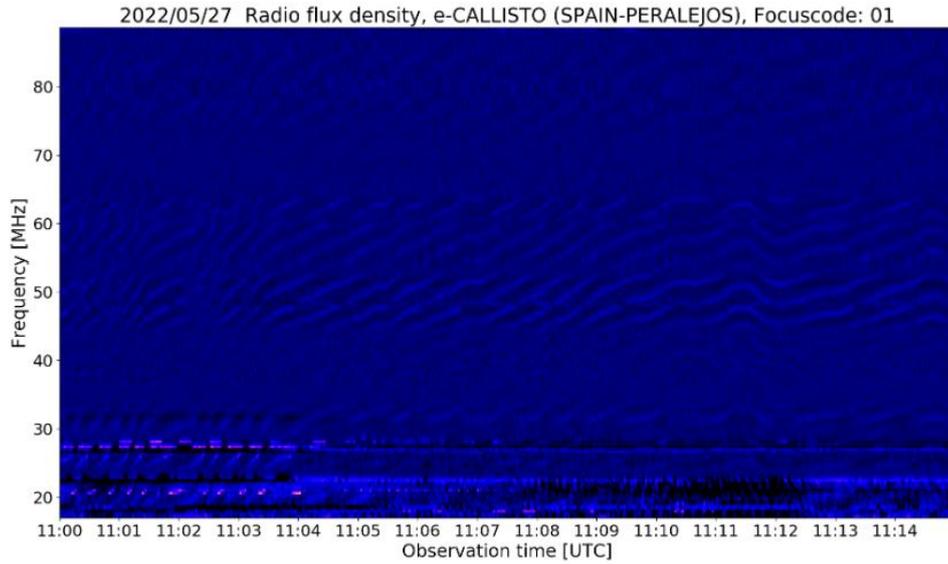


Figura 6. RFI detectada en la parte baja del espectrograma.

En cambio, en la Figura 7 no se observa RFI local. El amplificador del circuito ya no proporciona amplificación y solo se ve el ruido del receptor. Esto indica un mal funcionamiento. [7]

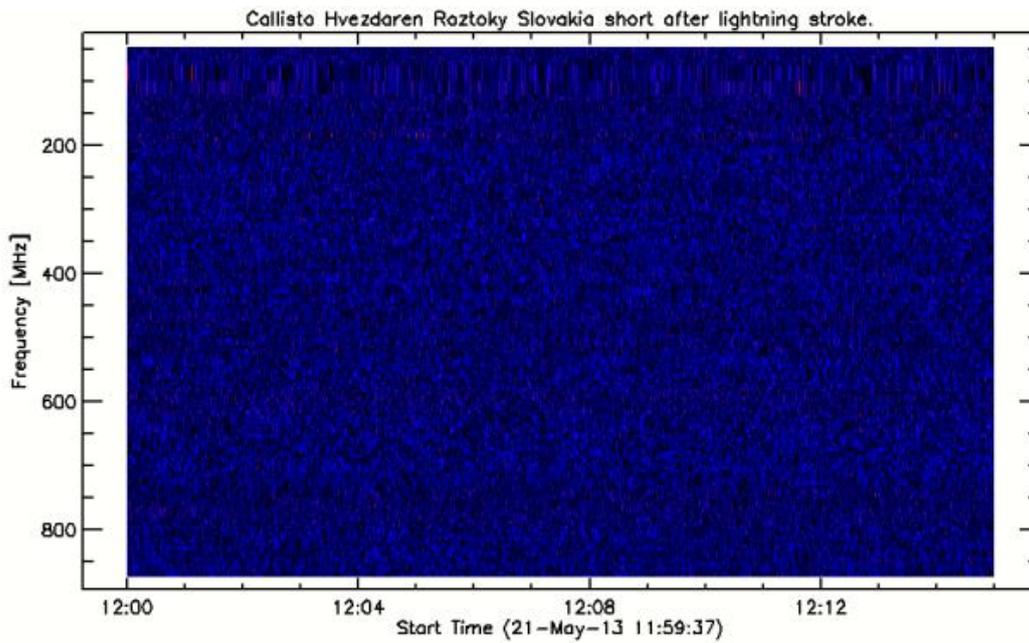


Figura 7. Ruido del receptor por mal funcionamiento del amplificador.

4.1.3. Idea de programación.

Red e-CALLISTO

Se observa que en los espectrogramas proporcionados por la red e-CALLISTO, contienen tres parámetros fundamentales: tiempo, frecuencia e intensidad.

Usando los archivos FITS (o GZ) del espectrómetro los tres parámetros fundamentales se expresan en una matriz, de 200 filas y 3600 columnas, ejemplo en la Figura 8.

		TIEMPO					
		0	1	2	3	...	3599
FRECUENCIA	0	INTENSIDAD				...	
	1					...	
	2					...	

	199					...	

Figura 8. Ejemplo de matriz con los tres parámetros fundamentales proporcionados por los espectrogramas de la red e-CALLISTO.

Las filas representan el eje de la frecuencia, en la que hay 200 pasos desde la frecuencia máxima hasta la frecuencia mínima. Si, por ejemplo, la antena del espectrograma trabaja desde los 20 MHz hasta los 80 MHz (un gap de 60 MHz) y tiene 200 pasos, cada avance en la fila significa un retroceso de 0,3 MHz en la frecuencia, porque la fila 0 es la frecuencia máxima y la frecuencia 199 es la frecuencia mínima.

Las columnas representan el eje del tiempo, en la que hay 3600 pasos desde el tiempo mínimo hasta el tiempo máximo. Los espectrogramas al ser siempre de 15 minutos (900 segundos) y tener 3600 pasos, cada progreso en la columna significa un avance de 0,25 segundos en el tiempo.

Cada valor de la matriz representa la intensidad. Esto es igual que los píxeles de una pantalla cualquiera, dependiendo de la fila y la columna elegida tendrá un valor y si se pone en perspectiva se puede observar la imagen del espectrograma. En este caso, no nos interesa el color que pueda producir un píxel sino el valor numérico que proporciona la intensidad en decibelios.

Ahora que se tiene ubicado los tres parámetros fundamentales, se deben buscar ruidos o interferencias para eliminarlas y ráfagas solares para destacarlas. Ambas se caracterizan por resaltar comparado con el fondo de la imagen.

Para eliminar cualquier tipo de ruido o interferencia presente en el espectrograma se hará un análisis horizontal, fila por fila, dado que así se manifiesta. Se extraen todas las intensidades medias de cada fila y se comparan con la intensidad media de la primera fila que es donde menos ruido o interferencia suele manifestar, por ello es la representación del fondo de escala. La fila no será eliminada del espectrograma si la intensidad media de la fila cumple la siguiente ecuación:

$$FE - 0,5dB < X < FE + 0,5dB$$

Se ha elegido $\pm 0,5$ dB respecto al fondo de escala porque una diferencia de ese valor ya es destacable para decir que resalta del fondo de escala.

Una vez eliminado los posibles ruidos, se hará un análisis vertical, columna por columna, en busca de ráfagas solares dado que así se manifiesta. Se extraen todas las intensidades medias de cada columna y se compara con el fondo de escala establecido anteriormente. Se puede decir que se ha detectado una ráfaga solar, si varias columnas seguidas (como mínimo 6), su intensidad media de la columna cumple la siguiente ecuación:

$$FE + 0,5dB < X$$

Red NOAA

Para la extracción de datos, no hay que buscar dentro de un espectrograma si hay algún tipo de ráfaga solar, es un archivo de texto en el que donde registran todos los eventos solares. Solo hay que fijarse en las ráfagas de radio solar y esta se distingue en el apartado 'Type' como 'RSP' (*Sweep-frequency radio burst*). Ver Anexo 1.

Para el análisis estadístico se realizará de la misma manera que para los datos de la red e-CALLISTO, para que se puedan cruzar y analizar en conjunto. Aunque hay alguna información que no se puede extraer de la red NOAA como la duración de la ráfaga solar en segundos, dado que solo lo da en minutos.

4.1.4. Información extraída para el posterior análisis estadístico.

Una vez detectada una ráfaga solar se registrará una serie de apartados para su análisis. Algunos generales como la estación, el año, el mes, el día. Otros de tiempo como en que minuto ha comenzado y que duración tiene. Otros de frecuencia como la frecuencia máxima y la frecuencia mínima. Otros de intensidad como los decibelios.

Todos estos apartados son datos continuos y para realizar un análisis estadístico es necesario dividirlos en grupos para que el análisis sea más manejable.

Con los datos continuos se analizarán medias, modas, medianas... muy útil el diagrama box-plot donde enseña la agrupación de manera muy visual.

Con los datos agrupados se analizarán frecuencias, carencias... muy útil los histogramas donde enseña la agrupación de manera muy visual. Además, los parámetros más importantes se filtrarán por otros parámetros para analizar más en detalle sobre estos.

Finalmente, se divide las ráfagas solares encontradas en 17 apartados:

- *From*: indica a que red pertenece si a e-CALLISTO o NOAA.
- *Station*: indica a que estación pertenece.
- *Year*: indica a que año pertenece.
- *Month*: indica a que mes pertenece.
- *Day*: indica a que pertenece.
- *Freq Max*: indica, en MHz, cuál es la frecuencia máxima del espectrograma.
- *Freq Min*: indica, en MHz, cuál es la frecuencia mínima del espectrograma.
- *Freq*: indica el grupo en el que se encuentra el rango de frecuencias. Hay tres tipos de grupos:
 - *90-15 MHz*: son los que la frecuencia máxima es de menos de 100 MHz.
 - *180-45 MHz*: son los que la frecuencia máxima es igual o más de 100 MHz y menos de 200 MHz.
 - *525-110 MHz*: son los que la frecuencia máxima es igual o más de 200 MHz.
- *Hour Start*: indica a qué hora empieza.
- *Min Start*: indica en que minuto empieza.
- *Quarter Start*: indica en qué cuarto de hora empieza. Se divide en cuatro grupos:
 - *1Q*: el primer cuarto de hora, de 0 a 14 minutos.
 - *2Q*: el segundo cuarto de hora, de 15 a 29 minutos.
 - *3Q*: el tercer cuarto de hora, de 30 a 44 minutos.
 - *4Q*: el último cuarto de hora, de 45 a 59 minutos.

- *Duration (min)*: duración de la ráfaga solar en minutos.
- *Duration (s)*: duración de la ráfaga solar en segundos.
- *Part Duration*: para la red e-CALLISTO, indica el grupo en el que se encuentra la duración de la ráfaga solar. Se divide en cuatro grupos:
 - *1P*: de 0 a 4 segundos de duración.
 - *2P*: de 5 a 14 segundos de duración.
 - *3P*: de 15 a 59 segundos de duración.
 - *4P*: de 60 segundos de duración o más.

Para la red NOAA, que solo indica la duración en minutos, se divide en dos grupos:

- *1P*: de 0 a 59 segundos de duración.
- *4P*: de 60 segundos de duración o más.
- *Image Start*: exclusivo de la red e-CALLISTO, indica en qué posición del espectrograma se encuentra la ráfaga solar.
 - *FL*: muy a la izquierda de la imagen. Los primeros 3 minutos del espectrograma.
 - *L*: a la izquierda de la imagen. Desde el minuto 3 hasta el 6 del espectrograma.
 - *C*: centrada en la imagen. Desde el minuto 6 hasta el 9 del espectrograma.
 - *R*: a la derecha de la imagen. Desde el minuto 9 hasta el 12 del espectrograma.
 - *FR*: muy a la derecha de la imagen. Desde el minuto 12 hasta el 15 del espectrograma.
- *Intensity (dB)*: exclusivo de la red e-CALLISTO, indica el pico de intensidad en decibelios.
- *Relevance*: indica la relevancia de la ráfaga solar según el pico de intensidad. Se divide en tres grupos:
 - *1*: menos de 3 dB de intensidad.
 - *2*: de igual o más de 3 dB a menos de 5 dB de intensidad.
 - *3*: igual o más de 5 dB de intensidad.

4.2. Análisis estadístico.

Como ya se ha mencionado anteriormente tendremos dos tipos de datos: los continuos y los agrupados.

Los continuos exclusivamente son la duración de la ráfaga solar, en segundos y en minutos, y la intensidad en decibelios. Con esta información se obtendrá: el promedio, el mínimo, el máximo, la mediana y el número de valores atípicos. Estos datos nos harán tener una idea de cómo funciona la estación de observación solar analizada, en que rangos suelen trabajar, si detectan valores extremos con facilidad y cuál es el promedio de sus detecciones. También se compararán unas estaciones con otras para entender en que punto de rendimiento se encuentra cada estación y si es coherente.

Los datos agrupados representan una mayor parte de la información de la ráfaga solar detectada debido a que este tipo de datos son más manejables para realizar un análisis estadístico. Por ejemplo, se pueden encontrar los meses, la duración, el rango de frecuencias, la relevancia de la intensidad, etc.

Partiendo de los datos continuos, donde ya entendemos de qué manera trabaja cada estación y en que rangos opera con mayor facilidad o dificultad. Acto seguido, se usarán los datos agrupados para analizar con qué frecuencia se repite la magnitud analizada. Por ejemplo, si queremos analizar la duración de una ráfaga solar primero se estudiará sus datos continuos para entender cómo funciona y acto seguido sus datos agrupados. Si en estos datos agrupados se encuentran una desviación significativa respecto a los datos continuos diremos que se ha encontrado una tendencia, si hay más, y una carencia, si hay menos.

También, los datos agrupados serán filtrados entre sí, en busca de relaciones directas que impliquen una tendencia en la detección de ráfagas solares. Por ejemplo, podemos analizar la duración de la ráfaga por meses, comparándolo con los datos continuos iniciales, en busca de una relación directa. Esta práctica será usada con asiduidad dado que ofrece bastante información interesante.

Todo este proceso nos hará finalizar con un gran número de conclusiones cortas, donde todo su conjunto nos dará forma a una conclusión entera.

5. ENTORNO DE PROGRAMACIÓN.

Para la extracción de datos se empleará Python debido a que gran parte del proyecto de e-CALLISTO trabaja ya en este lenguaje. Python es un lenguaje interpretado, dinámico y multiplataforma, además cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad del código. [8] Todo esto hace que Python sea el entorno de programación ideal para este proyecto.

5.1. Anaconda y Spyder.

El lenguaje de Python puede ser usado en diferentes plataformas como Jupyter, Datalore, Spyder, etc. Todas estas plataformas se reúnen en una sola llamada Anaconda, por ello es la plataforma más aconsejable para descargar.

Anaconda se puede descargar desde su página web (<https://www.anaconda.com/>) y está disponible para Windows, Linux y MacOS.

Para este proyecto se usará Spyder debido a que se usará el panel de consola para descargar los archivos de internet y visualizar los gráficos cuando se analizan los archivos descargados.

5.2. Scripts de Python.

En informática, un *script* o programa, es una secuencia de instrucciones escritas para realizar una tarea específica en un computador. Para realizar este proyecto se han desarrollado tres *scripts* para el análisis de los archivos (extractBurstData.py, cleanBurstData.py y extractNOAA.py) y se han usado otros cuatro ya existentes para la descarga de estos (main.py, BurstDownloader.py, CallistoDownloader.py y utils.py). Por tanto, para el funcionamiento completo de la descarga y análisis de los archivos es necesario siete *scripts*.

En la Figura 9 se puede observar las dependencias de los scripts, su papel en el proyecto y en rojo el orden para un buen funcionamiento de los programas.



Figura 9. Dependencias y orden de funcionamiento de los scripts.

5.2.1. *Scripts* para la descarga de archivos e-CALLISTO.

Para la descarga de archivos procedentes de la red e-CALLISTO se han usado cuatro *scripts* ya existentes, creados por Carlos Yanguas y Mario Fernández y descargable en GitHub (<https://github.com/c-yanguas/Menu-Callisto>).

Los cuatro *scripts* utilizados para la descarga de archivos son: ‘BurstDownloader.py’, ‘CallistoDownloader.py’, ‘utils.py’ y ‘main.py’.

main.py

El *script* central es ‘main.py’. Al ejecutar este programa se desplegará en la consola de mando un menú para enseñar las estaciones disponibles, descargar los archivos que desea el usuario y actualizar la base de datos de ráfagas solares.

Por ello, ‘main.py’ tiene diferentes funciones para realizar su cometido.

- Variable para indicar las estaciones disponibles.
- Funciones auxiliares para enseñar mensajes por la consola de mando.
- Funciones de manejo de errores y guardar las variables de personalización de la descarga de archivos.
- Funciones de descarga.
- Funciones del menú que se proyectará en la consola de mando.

BurstDownloader.py

El *script* ‘BurstDownloader.py’ contiene las siguientes funciones:

- Funciones para extraer la base de datos de ráfagas solares detectadas.
- Funciones para descargar archivos específicos que contienen ráfagas solares detectadas.

CallistoDownloader.py

El *script* ‘CallistoDownloader.py’ únicamente contiene una función en sus instrucciones que sirve para descargar los archivos personalizados por el usuario de los espectrómetros de la red e-CALLISTO.

utils.py

Los archivos disponibles de la red e-CALLISTO son descargables como archivos GZ. El *script* ‘utils.py’ contiene varias funciones de conversión del archivo GZ al archivo NPY, FITS y PNG.

5.2.2. Scripts para el análisis de archivos e-CALLISTO.

Para el análisis de archivos procedentes de la red e-CALLISTO se han creado y desarrollado dos *scripts*: ‘extractBurstData.py’ y ‘cleanBurstData.py’.

extractBurstData.py

El *script* ‘extractBurstData.py’ analiza todos los archivos GZ procedentes de la red e-CALLISTO que se encuentran en la carpeta ‘Image’ en ‘Data’. Los resultados de este análisis se guardan un archivo Excel llamado ‘BurstData.xlsx’ en ‘Data’.

El *script* ‘extractBurstData.py’ contiene las siguientes funciones:

- La inicialización de las variables y *arrays* que se usarán para guardar la información del espectrograma.
- La extracción de la información del espectrograma como la estación, la fecha, la frecuencia de trabajo, etc. Usando las funciones “read_py” y “read_image” que al llamarlas nos proporcionan toda la información general del archivo indicado.
- La realización del gráfico del espectrograma visible dentro del apartado ‘Plots’ en Spyder.
- La realización del gráfico de las curvas de luz visible dentro del apartado ‘Plots’ en Spyder.
- La aplicación de un primer filtro para obtener posibles ráfagas solares.

El ruido en el espectrograma se reconoce por líneas horizontales de diferente magnitud que el fondo de escala. Por ello, primero se analiza horizontalmente el espectrograma comparándolo con el fondo y si obtiene una diferencia significativa se elimina, descartando así el posible ruido.

Las ráfagas solares en el espectrograma se reconocen por líneas verticales de mayor magnitud que el fondo de escala. Por ello, después de haber eliminado el ruido, se analiza verticalmente el espectrograma comparándolo con el fondo y si se obtiene una diferencia significativa se guarda como posible ráfaga solar.

- La extracción del comienzo, final y duración de la posible ráfaga solar detectada.

En primer lugar, se usará un bucle *for* para recorrer todos los valores en vertical que se han anotado como posibles ráfagas solares. A continuación, con condicionales anidados se dividirán los valores que estén próximos unos con otros en torno a 15 posiciones. Por ejemplo, si los valores en vertical destacados son 1, 2, 3, 51, 52, 73, 74 y 75, se harán tres bloques [1, 2, 3], [51, 52] y [73, 74, 75].

A continuación, mediante un bucle *for*, se analizará la duración de la ráfaga. Por ejemplo, el bloque [1, 2, 3] comienza en la posición 1, acaba en la posición 3 y dura 2 posiciones. Si la duración de la ráfaga dura menos de 5 posiciones se descarta debido a que menos de 5 es demasiado poco tiempo para considerarse una ráfaga solar.

En último lugar, si una posible ráfaga solar pasa los filtros anteriores se analizará mediante un bucle *for* y un condicional cual es el pico de intensidad de esta ráfaga.

- La clasificación de la posición de la ráfaga solar dentro del espectrograma.

Mediante un bucle *for* se recorrerá el inicio de las posiciones de la ráfaga solar detectada. Como se vio anteriormente el espectrograma tiene 3600 posiciones horizontales. Al dividirlo en 5 son 5 fracciones de 720 posiciones.

Si el inicio de la ráfaga solar se encuentra en las primeras 720 posiciones, se dirá que está muy a la izquierda de la imagen “FL”. Si se encuentra en las posiciones 720 hasta la 1440 se dirá que está a la izquierda de la imagen “L”. Si se encuentra en las posiciones 1440 hasta la 2160 se dirá que está centrada en la imagen “C”. Si se encuentra en las posiciones 2160 hasta la 2880 se dirá que está a la derecha de la imagen “R”. Si se encuentra en las posiciones 2880 hasta la 3600 se dirá que está muy a la derecha de la imagen “FR”.

- La aplicación de un segundo filtro para obtener las ráfagas.

Después de probar el funcionamiento del primer filtro, se observó que la gran mayoría de posibles ráfagas solares de menor intensidad de pico que 2.4 dB no lo eran. Por ello, se aplica un segundo filtro donde todas las posibles ráfagas de menor intensidad de pico que 2.4 dB se eliminan.

- La extracción de la duración de la ráfaga solar en minutos.

Primero se multiplicarán las posiciones del inicio, final y duración de la ráfaga solar por 0,25 dado que esta es la conversión para obtener la posición en segundos. A continuación, los segundos al dividirlo por 60 se obtendrá la duración de la ráfaga en minutos.

- La clasificación de la ráfaga solar detectada según la intensidad.

Usando el pico de intensidad de la ráfaga detectada, se someterá a un bucle *for* para recorrer todas las posiciones del *array*. Si el pico de intensidad es menor a 3 dB tendrá una clasificación de relevancia “1”. Si es mayor o igual a 3dB y menor a 5 dB tendrá una clasificación de relevancia “2”. Si es mayor o igual a 5 dB tendrá una clasificación de relevancia “3”.

- La clasificación de la ráfaga solar detectada según la duración.

Usando la duración de la ráfaga detectada, se someterá a un bucle *for* para recorrer todas las posiciones del *array*. Si la duración es menor a 5s tendrá una clasificación de *part duration* “1P”. Si es mayor o igual a 5s y menor a 15s tendrá una clasificación de *part duration* “2P”. Si es mayor o igual a 15s y menor a 60s tendrá una clasificación de *part duration* “3P”. Si es mayor o igual a 60s tendrá una clasificación de *part duration* “4P”.

- La clasificación de la ráfaga solar detectada según el cuarto de hora que se encuentre.

Usando el comienzo de la ráfaga solar detectada, se someterá a un bucle *for* para recorrer todas las posiciones del *array*. Si el comienzo de la ráfaga solar se encuentra en el primer cuarto de hora tendrá una clasificación “1Q”. Si se encuentra en el segundo cuarto de hora “2Q”. Si se encuentra en el tercer cuarto de hora “3Q”. Si se encuentra en el último cuarto de hora “4Q”.

- La clasificación de la ráfaga solar detectada según el rango de frecuencias que se encuentre.

Usando la frecuencia máxima de la ráfaga detectada, se someterá a un bucle *for* para recorrer todas las posiciones del *array*. Si la frecuencia máxima es menor a 100MHz tendrá una clasificación de rango de frecuencias “90-15 MHz”. Si es mayor o igual a 100MHz y menor a 200MHz tendrá una clasificación de rango de frecuencias “180-45 MHz”. Si es mayor a 200MHz tendrá una clasificación de rango de frecuencias “525-110 MHz”.

- La escritura del análisis del archivo en el archivo.

Mediante la librería de pandas, muy conocida en el mundo de Python, se usan dos funciones: una para leer el archivo Excel “BurstData.xlsx” de la carpeta “Data” y otra función para escribir sobre este archivo.

La función de leer se usará para acumular toda la información que ya había en ella y no borrarla, dado que al escribir reemplaza toda la información que ya había por la nueva. Por lo tanto, primero se leerá lo que hay en el archivo Excel y después se añadirá en él la nueva información que se ha obtenido.

cleanBurstData.py

Los archivos GZ descargables por la red e-CALLISTO en algunas ocasiones no pueden ser leídos, para la ejecución del análisis y muestran un error por pantalla. El *script* ‘cleanBurstData.py’ elimina este tipo de archivos. Los errores que se muestran son:

- Los archivos que comienzan en un día y acaban en otro día, por ejemplo, empezar a las 23:58h del lunes y acabar a las 00:13h del martes, hace que salte una excepción `TypeError` (Figura 10). La solución es buscar este tipo de archivo que comience cerca de la medianoche y eliminarlo.
- Dentro de la red e-CALLISTO algunos archivos guardados no contienen información. Estos archivos corruptos hacen que salte una excepción `TypeError` (Figura 11). Para solucionar este problema, al no contener información estos archivos tienen un tamaño en disco de memoria mucho menor a lo normal. Por ello, se comparan los bytes y si es mucho menor a lo normal se eliminan.

```
TypeError: Input values for datetime class must be datetime objects
```

Figura 10. Primer tipo de excepción.

```
TypeError: buffer is too small for requested array
```

Figura 11. Segundo tipo de excepción.

5.2.3. *Scripts* para el análisis de archivos NOAA.

Para el análisis de archivos procedentes de la red NOAA se han creado y desarrollado un *script*: 'extractNOAA.py'.

extractNOAA.py

El *script* 'extractNOAA.py' analiza todos los archivos de texto procedentes de la red NOAA que se encuentran en la carpeta 'NOAA.txt' en 'Data'. Los resultados de este análisis se guardan un archivo Excel llamado 'BurstData.xlsx' en 'Data'.

El *script* 'extractNOAA.py' contiene las siguientes funciones:

- La inicialización de las variables y *arrays* que se usarán para guardar la información del archivo.
- La extracción de la información del archivo de texto como la estación, la fecha, la frecuencia de trabajo, etc.

Los archivos procedentes de la red NOAA son archivos de texto por lo que se usarán funciones como `read_txt()`, `open()` y `readlines()`, donde leerán el archivo de texto y lo dividirán literalmente línea por línea.

A continuación, se usarán distintos condicionales anidados para solo extraer la información de los RSP (ráfagas solares) y de los observatorios de San Vito y Learmonth. Ver Anexo 1.

La información a extraer siempre se encuentra en las mismas posiciones, por lo que solo hay que contar posiciones hasta llegar a ella.

- La clasificación de la ráfaga solar según la duración.

Usando la duración de la ráfaga detectada, se someterá a un bucle *for* para recorrer todas las posiciones del *array*. Si la duración es menor o igual a un minuto tendrá una clasificación de *part duration* "1P". Si es mayor a un minuto tendrá una clasificación de *part duration* "4P".

Se recuerda que la información de la duración procedente de la red NOAA solo se obtiene en minutos. Por ello, no se puede hacer un análisis en segundos.

- La clasificación de la ráfaga solar según el cuarto de hora que se encuentre.

Usando el comienzo de la ráfaga solar detectada, se someterá a un bucle *for* para recorrer todas las posiciones del *array*. Si el comienzo de la ráfaga solar se encuentra en el primer cuarto de hora tendrá una clasificación “1Q”. Si se encuentra en el segundo cuarto de hora “2Q”. Si se encuentra en el tercer cuarto de hora “3Q”. Si se encuentra en el último cuarto de hora “4Q”.

- La clasificación de la ráfaga solar según el rango de frecuencias que se encuentre.

Usando la frecuencia máxima de la ráfaga detectada, se someterá a un bucle *for* para recorrer todas las posiciones del *array*. Si la frecuencia máxima es menor a 100MHz tendrá una clasificación de rango de frecuencias “90-15 MHz”. Si es mayor o igual a 100MHz y menor a 200MHz tendrá una clasificación de rango de frecuencias “180-45 MHz”. Si es mayor a 200MHz tendrá una clasificación de rango de frecuencias “525-110 MHz”.

- La clasificación de la ráfaga solar según la intensidad.

En el propio archivo de texto procedente de la red NOAA viene la clasificación de la ráfaga solar. Así que, mediante un bucle *for* se dispone a leer el fichero, para extraer este apartado.

- La extracción de la duración de la ráfaga solar en segundos.

La duración en minutos se multiplica por 60 para obtener la duración en segundos.

- La escritura del análisis del archivo en el archivo Excel.

Mediante la librería de *pandas*, muy conocida en el mundo de Python, se usan dos funciones: una para leer el archivo Excel “BurstData.xlsx” de la carpeta “Data” y otra función para escribir sobre este archivo.

La función de leer se usará para acumular toda la información que ya había en ella y no borrarla, dado que al escribir reemplaza toda la información que ya había por la nueva. Por lo tanto, primero se leerá lo que hay en el archivo Excel y después se añadirá en él la nueva información que se ha obtenido.

5.3. Librerías necesarias.

Para el buen funcionamiento de los scripts explicados en el apartado anterior, se han de instalar todas las librerías y la versión correspondiente resumida en la Tabla 5.

Librería	Versión
astropy	5.0.1
beautifulsoup4	4.10.0
matplotlib	3.5.1
numply	1.21.4
pandas	1.3.5
pillow	9.0.1
requests	2.26.0
selenium	4.1.3
setuptools	56.0.0
tqdm	4.62.3
webdriver_manager	3.5.2
et-xmlfile	1.1.0
openpyxl	3.0.9
pyfits	3.5
sunpy	4.0.0
radiospectra	0.4.0

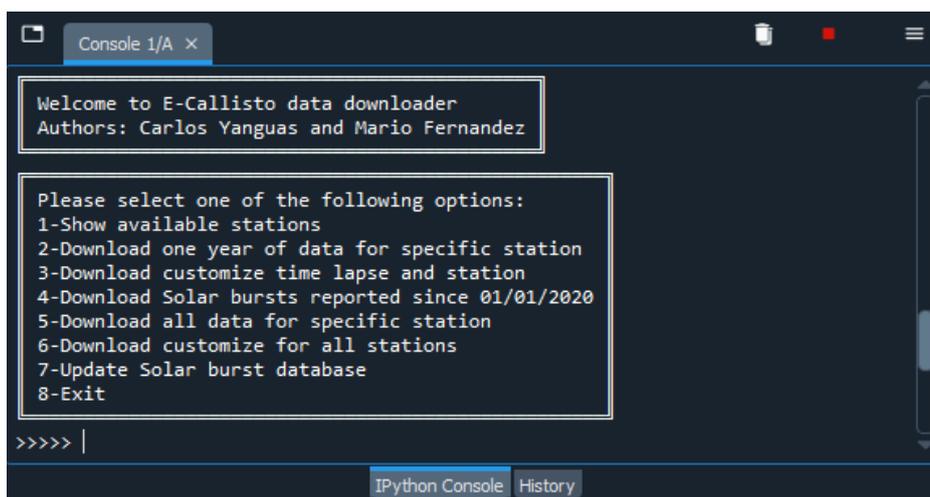
Tabla 5. Librerías necesarias para usar los scripts.

6. MANUAL DE USUARIO.

6.1. Descarga de archivos e-CALLISTO.

En primer lugar, para descargar los archivos procedentes de la red e-CALLISTO hay que abrir la aplicación de Spyder con los cuatro *scripts* necesarios: ‘BurstDownloader.py’, ‘CallistoDownloader.py’, ‘utils.py’ y ‘main.py’.

En segundo lugar, se ejecutará el *script* ‘main.py’. Al realizar esta acción se desplegará en la consola de mando un menú (Figura 12).



```
Console 1/A x
Welcome to E-Callisto data downloader
Authors: Carlos Yanguas and Mario Fernandez

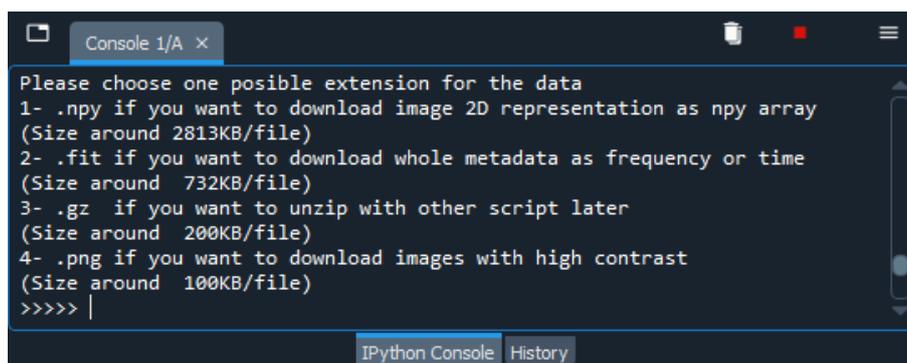
Please select one of the following options:
1-Show available stations
2-Download one year of data for specific station
3-Download customize time lapse and station
4-Download Solar bursts reported since 01/01/2020
5-Download all data for specific station
6-Download customize for all stations
7-Update Solar burst database
8-Exit

>>>> |
IPython Console History
```

Figura 12. Consola de mando, menú desplegable al ejecutar el *script* ‘main.py’.

Para la descarga de archivos, la opción más cómoda y personalizable, es la elección de **la tercera opción**. Aunque el resto de las opciones también son muy útiles para cualquier proyecto.

A continuación, el programa dará a elegir el tipo de extensión en la que se quiere que se descarguen los archivos (Figura 13). En nuestro caso, volveremos a elegir **la tercera opción** para tener los archivos en formato GZ.



```
Console 1/A x
Please choose one possible extension for the data
1- .npy if you want to download image 2D representation as npy array
(Size around 2813KB/file)
2- .fit if you want to download whole metadata as frequency or time
(Size around 732KB/file)
3- .gz if you want to unzip with other script later
(Size around 200KB/file)
4- .png if you want to download images with high contrast
(Size around 100KB/file)
>>>> |
IPython Console History
```

Figura 13. Consola de mando dando la opción al tipo de extensión de los archivos descargables.

La siguiente opción a elegir son las fechas en las que desea el usuario hacer la descarga de los archivos. Por ejemplo, del 28 de marzo del 2022 al 31 de marzo del 2022 (Figura 14).

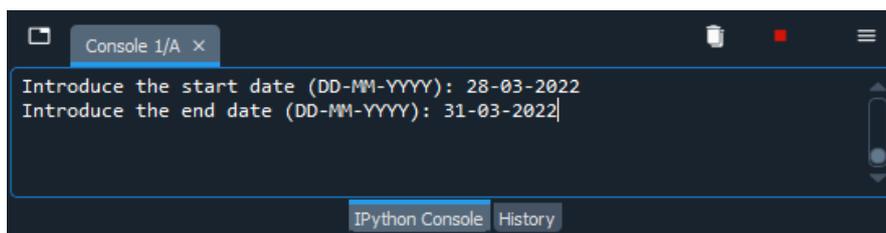


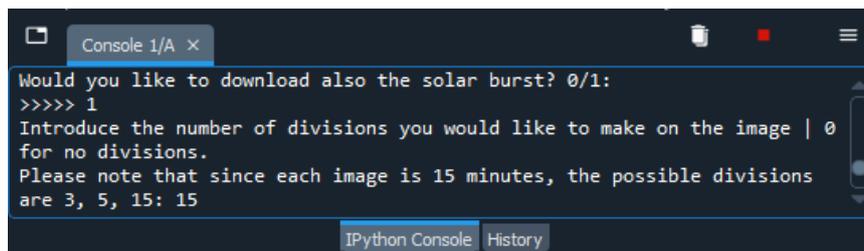
Figura 14. Consola de mando dando la opción las fechas de descarga de los archivos.

A continuación, en la consola de mando se desplegará un menú con las estaciones disponibles (Figura 15) y hay que introducir el número asociado a la estación de la que se quieren descargar los archivos. Por ejemplo, si queremos la estación ‘SPAIN-PERALEJOS’ se ha de introducir el número 38.



Figura 15. Consola de mando dando la opción de la estación para la descarga de los archivos.

Las últimas opciones de la consola de mando se muestran en la Figura 16. Primero pregunta al usuario si se quiere descargar también las ráfagas solares, a lo que habrá que responder con **1**. Después en que divisiones queremos dividir la imagen, a lo que habrá que responder con **15**.



```
Console 1/A x
Would you like to download also the solar burst? 0/1:
>>>> 1
Introduce the number of divisions you would like to make on the image | 0
for no divisions.
Please note that since each image is 15 minutes, the possible divisions
are 3, 5, 15: 15
IPython Console History
```

Figura 16. Consola de mando, últimas instrucciones para la descarga de los archivos.

Con todas estas instrucciones completadas, se descargarán los archivos deseados en la carpeta ‘Instruments’ en ‘Data’.

6.2. Análisis de archivos e-CALLISTO.

En primer lugar, una vez descargados los archivos, hay que mover los archivos GZ a la carpeta ‘Images’ en ‘Data’.

A continuación, se debe ejecutar el *script* ‘cleanBurstData.py’ para eliminar cualquier archivo corrupto o defectuoso.

En último lugar, para analizar los archivos de la red e-CALLISTO, se debe ejecutar el *script* ‘extractBurstData.py’ y el resultado de este análisis se encuentra en el archivo Excel ‘BurstData.xlsx’ en la carpeta ‘Data’.

6.3. Descarga de archivos NOAA.

Para descargar los archivos de la red NOAA es mediante el protocolo FTP. Para ello, se necesitará una aplicación que trabaje en este formato, por ejemplo, ‘FileZilla Client’.

Una vez abierto esta aplicación, hay que buscar el servidor e introducir: **ftp.swpc.noaa.gov**. A continuación, se abrirán una serie de carpetas en la que hay que seguir la secuencia: **pub/indices/eventos**. En esta última carpeta se encontrarán todos los eventos registrados en la red NOAA por días en archivos de texto.

En este punto, solo falta seleccionar los archivos que se desean analizar y descargarlos en un sitio donde el usuario los pueda encontrar fácilmente.

6.4. Análisis de archivos NOAA.

En primer lugar, una vez descargados los archivos, hay que mover los archivos de texto a la carpeta ‘NOAAtxt’ en ‘Data’.

A continuación, para analizar los archivos de la red NOAA, se debe ejecutar el *script* ‘extractNOAA.py’ y el resultado de este análisis se encuentra en el archivo Excel ‘BurstData.xlsx’ en la carpeta ‘Data’.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

7.1. Introducción.

Los espectrogramas sólo tienen tres parámetros: tiempo, frecuencia e intensidad. Estos parámetros se han dividido para encontrar cualquier tipo de tendencia o carencia en la estación. Los parámetros más importantes como, por ejemplo, la intensidad de la ráfaga solar se filtrará por otro tipo de parámetros para analizar más en detalle.

Para el análisis estadístico se han usado las estaciones de Australia-ASSA, Glasgow y España-Peralejos por parte de la red e-CALLISTO y las estaciones de Learmonth y San Vito por parte de la red NOAA.

Se han usado los *scripts* previamente comentados y explicados para la descarga y el análisis de los archivos procedentes de estas estaciones durante todo un año, desde el 1 de agosto de 2021 hasta el 31 de julio de 2022.

7.2. Intensidad.

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	1333 (36.57%)	1740 (61.03%)	560 (51.9%)	408 (56.28%)	558 (73.13%)
2	1555 (42.66%)	754 (26.45%)	321 (29.75%)	288 (39.72%)	190 (24.9%)
3	757 (20.77%)	357 (12.52%)	198 (18.35%)	29 (4%)	15 (1.97%)
Total	3645 (100%)	2851 (100%)	1079 (100%)	725 (100%)	763 (100%)

Tabla 6. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad.

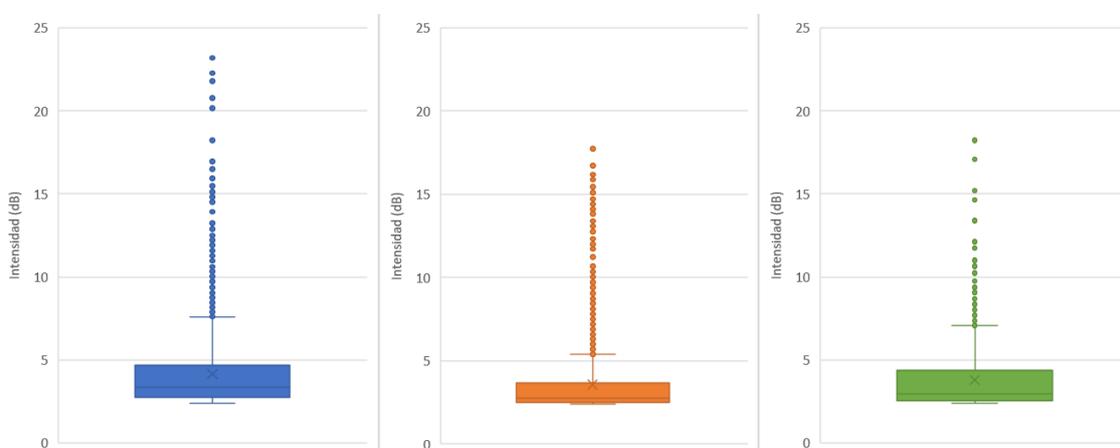


Gráfico 1. Diagramas de caja según la intensidad. A la izquierda corresponde a la estación de Australia-ASSA. En el centro corresponde a la estación de Glasgow. A la derecha corresponde a la estación de Peralejos.

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
Promedio	4.145 dB	3.572 dB	3.782 dB
Mínimo	2.4 dB	2.4 dB	2.4 dB
Primer cuartil	2.729 dB	2.53 dB	2.558 dB
Mediana	3.362 dB	2.769 dB	2.957 dB
Tercer cuartil	4.677 dB	3.68 dB	4.363 dB
Máximo	7.578 dB	5.394 dB	7.064 dB
Número de valores atípicos	275	299	70
Porcentaje de valores atípicos	$275/3645 = 7.54\%$	$299/2851 = 10.49\%$	$70/1079 = 6.49\%$

Tabla 7. Datos de los diagramas de caja según la intensidad.

Se observa en la Tabla 6 que la estación de Australia es la única estación que la intensidad de relevancia 1 está por debajo del 50% de las ráfagas solares registradas. Además, es la estación que más ráfagas solares de relevancia 3 detecta.

Las estaciones de la red NOAA tienen un porcentaje bajo de detección de ráfagas solares de relevancia 3. Esto podemos admitir que es un error procedente de la red y no de las estaciones. En proporción, la estación de Learmonth detecta más ráfagas solares de relevancia 3 que la estación de San Vito. Este hecho ratifica que en la estación de Australia se detecten más ráfagas solares de este tipo.

La estación de Peralejos tiene un gran porcentaje de detección de ráfagas solares de relevancia 3, similar a Australia que es la mejor.

La estación de Glasgow y Peralejos tienen una tendencia similar con las ráfagas de relevancia 2. Pero la estación de Glasgow es la que más ráfagas solares de relevancia 1 detecta, hecho que confirma la estación de San Vito que es la que más ráfagas solares de relevancia 1 detecta en porcentaje.

Según los diagramas de caja de la Gráfica 1, se observa que las estaciones de Australia y de Peralejos tienen una forma parecida, aunque la de Australia abarca más datos de mayor intensidad. En la estación de Glasgow se observa que el diagrama de caja es muy achatado por su mayor tendencia de detectar ráfagas solares de menor intensidad.

También de la información de los diagramas de caja (Tabla 7), al haber valores muy extremos la mediana informa mejor del punto central de la distribución que la media. En este caso, el punto central de la intensidad de todas las ráfagas solares está entorno a los 3 dB de intensidad, exactamente a los 3,03 dB.

7.2.1. Filtro por frecuencia.

Frecuencia de 90-15 MHz

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	1203 (39.98%)	1740 (61.03%)	237 (50.43%)	108 (72%)	326 (91.83%)
2	1174 (39.02%)	754 (26.45%)	143 (30.43%)	40 (26.67%)	28 (7.89%)
3	632 (21%)	357 (12.52%)	90 (19.15%)	2 (1.33%)	1 (0.28%)
Total	3009 (100%)	2851 (100%)	470 (100%)	150 (100%)	355 (100%)

Tabla 8. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por frecuencia de 90-15 MHz.

Se observa en la Tabla 8 que el 80% de las ráfagas solares detectadas en la estación de Australia es en el rango de frecuencia de 90-15 MHz, y la proporción de la relevancia de intensidad se mantiene.

Algo más del 43% de las ráfagas solares detectadas en la estación de Peralejos es en el rango de frecuencia de 90-15 MHz, en la estación de San Vito este porcentaje es el 46%, y la proporción de la relevancia de intensidad se mantiene.

Las estaciones de la red NOAA aumentan la proporción de intensidad de relevancia 1, este dato no es apreciable en las estaciones de la red e-CALLISTO.

Frecuencia de 180-45 MHz

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	12 (66.67%)	- (-)	273 (48.92%)	300 (52.17%)	232 (56.86%)
2	5 (27.78%)	- (-)	178 (31.9%)	248 (43.13%)	162 (39.71%)
3	1 (5.56%)	- (-)	107 (19.18%)	27 (4.7%)	14 (3.43%)
Total	18 (100%)	- (-)	558 (100%)	575 (100%)	408 (100%)

Tabla 9. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por frecuencia de 180-45 MHz.

Se observa en la Tabla 9 que algo más del 51% de las ráfagas solares detectadas en la estación de Peralejos es en el rango de frecuencia de 180-45 MHz y aumenta ligeramente la proporción de intensidad de relevancia 2 y 3, hecho que se reafirma en la estación de San Vito.

Las ráfagas solares detectadas en la estación de Australia no son representativas, al ser muy pocas.

Frecuencia de 525-110 MHz

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	118 (19.09%)	- (-)	50 (98.04%)	- (-)	- (-)
2	376 (60.84%)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)
3	124 (20.06%)	- (-)	1 (1.96%)	- (-)	- (-)
Total	618 (100%)	- (-)	51 (100%)	- (-)	- (-)

Tabla 10. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por frecuencia de 525-110 MHz.

Se observa en la Tabla 10 que las ráfagas solares detectadas en la estación de Australia, proporcionalmente, son de mayor relevancia a frecuencias de 525-110 MHz.

Las ráfagas solares detectadas en la estación de Peralejos no son representativas, al ser muy pocas.

7.2.2. Filtro por meses.

De enero a marzo

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	388 (25.56%)	252 (55.51%)	41 (66.13%)	104 (54.74%)	142 (79.78%)
2	685 (45.13%)	166 (36.56%)	15 (24.19%)	78 (41.05%)	34 (19.1%)
3	445 (29.31%)	36 (7.93%)	6 (9.68%)	8 (4.21%)	2 (1.12%)
Total	1518 (100%)	454 (100%)	62 (100%)	190 (100%)	178 (100%)

Tabla 11. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por meses de enero a marzo.

Se observa en la Tabla 11 que la estación de Australia tiene una mayor tendencia a detectar ráfagas solares de relevancia 3. Hecho que en Learmonth, proporcionalmente, también ocurre.

Las estaciones de Glasgow y Peralejos se reducen la detección de ráfagas solares de relevancia 3. Hecho que, en San Vito sutilmente, también ocurre.

De abril a junio

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	402 (61.85%)	707 (63.41%)	209 (39.81%)	120 (61.86%)	232 (76.07%)
2	190 (29.23%)	258 (23.14%)	156 (29.71%)	66 (34.02%)	66 (21.64%)
3	58 (8.92%)	150 (13.45%)	160 (30.48%)	8 (4.12%)	7 (2.3%)
Total	650 (100%)	1115 (100%)	525 (100%)	194 (100%)	305 (100%)

Tabla 12. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por meses de abril a junio.

Se observa en la Tabla 12 que la estación de Australia tiene una alta tendencia a detectar ráfagas solares de relevancia 1 y muy pocas de relevancia 3.

La estación de Peralejos aumenta la tendencia a detectar ráfagas solares de relevancia 2 y 3. Hecho que, en San Vito proporcionalmente, también ocurre.

De julio a septiembre

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	308 (38.84%)	412 (60.68%)	154 (47.53%)	103 (50.74%)	128 (67.37%)
2	315 (39.72%)	151 (22.24%)	140 (43.21%)	91 (44.83%)	57 (30%)
3	170 (21.44%)	116 (17.08%)	30 (9.26%)	9 (4.43%)	5 (2.63%)
Total	793 (100%)	679 (100%)	324 (100%)	203 (100%)	190 (100%)

Tabla 13. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por meses de julio a septiembre.

Se observa en la Tabla 13 que la estación de Peralejos aumenta la tendencia a detectar ráfagas solares de relevancia 2 y las ráfagas solares de relevancia 3 disminuye considerablemente.

De octubre a diciembre

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	235 (34.36%)	369 (61.19%)	156 (92.86%)	81 (58.7%)	56 (62.22%)
2	365 (53.36%)	179 (29.68%)	10 (5.95%)	53 (38.41%)	33 (36.67%)
3	84 (12.28%)	55 (9.12%)	2 (1.19%)	4 (2.9%)	1 (1.11%)
Total	684 (100%)	603 (100%)	168 (100%)	138 (100%)	90 (100%)

Tabla 14. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por meses de octubre a diciembre.

Se observa en la Tabla 14 que la estación de Australia detecta un menor número de ráfagas solares de relevancia 3. Hecho que en la estación de Learmonth también ocurre.

La estación de Peralejos casi todas sus detecciones son de ráfagas solares de relevancia 1.

7.2.3. Filtro por horas.

De 0h a 5h UTC

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	664 (43.51%)	81 (98.78%)	2 (40%)	234 (52.82%)	62 (81.58%)
2	597 (39.12%)	1 (1.22%)	3 (60%)	191 (43.12%)	13 (17.11%)
3	265 (17.37%)	- (-)	- (-)	18 (4.06%)	1 (1.32%)
Total	1526 (100%)	82 (100%)	5 (100%)	443 (100%)	76 (100%)

Tabla 15. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por horas de 0h a 5h UTC.

De 0h a 5h UTC en la estación de Australia son las horas centrales del día, en cambio, en Glasgow y Peralejos es de noche. Los datos de la intensidad en esta franja horaria se observan en la Tabla 15.

De 6h a 11h UTC

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	202 (19.69%)	737 (57.85%)	249 (61.79%)	127 (59.62%)	269 (70.23%)
2	441 (42.98%)	408 (32.03%)	84 (20.84%)	76 (35.68%)	105 (27.42%)
3	383 (37.33%)	129 (10.13%)	70 (17.37%)	10 (4.69%)	9 (2.35%)
Total	1026 (100%)	1274 (100%)	403 (100%)	213 (100%)	383 (100%)

Tabla 16. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por horas de 6h a 11h UTC.

De 6h a 11h UTC es el atardecer, en cambio, en Glasgow y Peralejos por la mañana.

Se observa en la Tabla 16 que de 6h a 11h UTC en la estación de Australia detecta muy pocas ráfagas solares de relevancia 1 y muchas de relevancia 3.

De 12h a 17h UTC

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	12 (23.53%)	879 (60.87%)	278 (46.41%)	- (-)	227 (74.67%)
2	29 (56.86%)	337 (23.34%)	199 (33.22%)	- (-)	72 (23.68%)
3	10 (19.61%)	228 (15.79%)	122 (20.37%)	- (-)	5 (1.64%)
Total	51 (100%)	1444 (100%)	599 (100%)	- (-)	304 (100%)

Tabla 17. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por horas de 12h a 17h UTC.

De 12h a 17h UTC en Australia es por la noche, en cambio, en Glasgow y Peralejos son las horas centrales del día.

Se observa en la Tabla 17 que en las estaciones de Glasgow y Peralejos aumentan ligeramente la detección de ráfagas solares de relevancia 3.

De 18h a 23h UTC

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	455 (43.67%)	43 (84.31%)	31 (43.06%)	47 (68.12%)	- (-)
2	488 (46.83%)	8 (15.69%)	35 (48.61%)	21 (30.43%)	- (-)
3	99 (9.5%)	- (-)	6 (8.33%)	1 (1.45%)	- (-)
Total	1042 (100%)	51 (100%)	72 (100%)	69 (100%)	- (-)

Tabla 18. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por horas de 18h a 23h UTC.

De 18h a 23h UTC en Australia es por la mañana, en cambio, en Glasgow y Peralejos es el atardecer.

Se observa en la Tabla 18 que en la estación de Australia detecta menos ráfagas de relevancia 3. Hecho que, en la estación de Learmonth, proporcionalmente también ocurre.

7.2.4. Filtro por cuartos.

El primer cuarto de hora

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	229 (30.99%)	382 (58.05%)	144 (49.48%)	128 (59.26%)	149 (76.8%)
2	312 (42.22%)	196 (29.79%)	71 (24.4%)	78 (36.11%)	41 (21.13%)
3	198 (26.79%)	80 (12.16%)	76 (26.12%)	10 (4.63%)	4 (2.06%)
Total	739 (100%)	658 (100%)	291 (100%)	216 (100%)	194 (100%)

Tabla 19. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por el primer cuarto de hora.

Se observa en la Tabla 19 que en la estación de Australia tiene una tendencia a detectar más ráfagas solares de relevancia 3. Hecho que, en la estación de Learmonth, también ocurre.

La estación de Peralejos también aumenta la detección de ráfagas solares de relevancia 3.

El segundo cuarto de hora

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	306 (33.77%)	455 (60.75%)	156 (46.29%)	95 (53.07%)	136 (69.39%)
2	376 (41.5%)	199 (26.57%)	110 (32.64%)	80 (44.69%)	54 (27.55%)
3	224 (24.72%)	95 (12.68%)	71 (21.07%)	4 (2.23%)	6 (3.06%)
Total	906 (100%)	749 (100%)	337 (100%)	179 (100%)	196 (100%)

Tabla 20. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por el segundo cuarto de hora.

Se observa en la Tabla 20 que en la estación de Australia tiene una tendencia a detectar más ráfagas solares de relevancia 3. Hecho que, en la estación de Learmonth, no ocurre.

La estación de San Vito también aumenta la detección de ráfagas solares de relevancia 3. Hecho que también ocurre ligeramente en la estación de Peralejos.

El tercer cuarto de hora

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	460 (38.14%)	439 (62.18%)	130 (53.94%)	86 (55.48%)	136 (74.32%)
2	568 (47.1%)	172 (24.36%)	81 (33.61%)	65 (41.94%)	43 (23.5%)
3	178 (14.76%)	95 (13.46%)	30 (12.45%)	4 (2.58%)	4 (2.19%)
Total	1206 (100%)	706 (100%)	241 (100%)	155 (100%)	183 (100%)

Tabla 21. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por el tercer cuarto de hora.

Se observa en la Tabla 21 que en las estaciones de Australia y Peralejos tienen una menor tendencia a detectar ráfagas solares de relevancia 3. En la estación de Learmonth también ocurre.

El último cuarto de hora

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1	338 (42.57%)	464 (62.87%)	130 (61.9%)	99 (56.57%)	137 (72.11%)
2	299 (37.66%)	187 (25.34%)	59 (28.1%)	65 (37.14%)	52 (27.37%)
3	157 (19.77%)	87 (11.79%)	21 (10%)	11 (6.29%)	1 (0.53%)
Total	794 (100%)	738 (100%)	210 (100%)	175 (100%)	190 (100%)

Tabla 22. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por el último cuarto de hora.

Se observa en la Tabla 22 que en la estación de Peralejos tiene una mayor tendencia a detectar ráfagas solares de relevancia 1 y menos ráfagas de relevancia 3. Hecho que también ocurre en la estación de San Vito.

7.2.5. Filtro por la posición en la imagen.

Este apartado corresponde únicamente a la red e-CALLISTO, dado que la red NOAA no proporciona esta información.

Muy a la izquierda de la imagen

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
1	532 (39.35%)	510 (62.58%)	166 (55.7%)
2	618 (45.71%)	215 (26.38%)	81 (27.18%)
3	202 (14.94%)	90 (11.04%)	51 (17.11%)
Total	1352 (100%)	815 (100%)	298 (100%)

Tabla 23. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por la posición en la imagen muy a la izquierda.

Se observa en la Tabla 23 que en las estaciones de Australia y Peralejos aumentan ligeramente la detección de las ráfagas solares de relevancia 1.

A la izquierda de la imagen

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
1	235 (36.04%)	329 (61.38%)	90 (47.37%)
2	298 (45.71%)	135 (25.19%)	58 (30.53%)
3	119 (18.25%)	72 (13.43%)	42 (22.11%)
Total	652 (100%)	536 (100%)	190 (100%)

Tabla 24. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por la posición en la imagen a la izquierda.

Se observa en la Tabla 24 que en la estación de Peralejos aumenta ligeramente la detección de las ráfagas solares de relevancia 3.

Centrada en la imagen

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
1	177 (28.46%)	275 (58.26%)	115 (55.83%)
2	278 (44.69%)	131 (27.75%)	63 (30.58%)
3	167 (26.85%)	66 (13.98%)	28 (13.59%)
Total	622 (100%)	472 (100%)	206 (100%)

Tabla 25. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por la posición centrada en la imagen.

Se observa en la Tabla 25 que en la estación de Australia tiene mayor tendencia a detectar ráfagas solares de relevancia 3. En cambio, la estación de Peralejos disminuye la tendencia a detectar ráfagas solares de relevancia 3.

A la derecha de la imagen

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
1	187 (36.38%)	293 (58.95%)	86 (44.33%)
2	181 (35.21%)	140 (28.17%)	65 (33.51%)
3	146 (28.4%)	64 (12.88%)	43 (22.16%)
Total	514 (100%)	497 (100%)	194 (100%)

Tabla 26. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por la posición en la imagen a la derecha.

Se observa en la Tabla 26 que en la estación de Australia detecta más ráfagas solares de relevancia 3. Y la estación de Peralejos detecta más ráfagas solares de relevancia 2 y 3.

Muy a la derecha de la imagen

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
1	202 (40%)	333 (62.71%)	103 (53.93%)
2	180 (35.64%)	133 (25.05%)	54 (28.27%)
3	123 (24.36%)	65 (12.24%)	34 (17.8%)
Total	505 (100%)	531 (100%)	191 (100%)

Tabla 27. Valores absolutos (valores relativos) según la intensidad y filtrado por la posición en la imagen muy a la derecha.

Se observa en la Tabla 27 que en la estación de Australia disminuye la detección de ráfagas solares de relevancia 2.

7.2.6. Filtro por duración.

La red e-CALLISTO de 0 a 4 segundos

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
1	304 (42.46%)	531 (82.33%)	146 (43.98%)
2	289 (40.36%)	96 (14.88%)	121 (36.45%)
3	123 (17.18%)	18 (2.79%)	65 (19.58%)
Total	716 (100%)	645 (100%)	332 (100%)

Tabla 28. Valores absolutos (valores relativos) de la red e-CALLISTO según la intensidad y filtrado por la duración de 0 a 4 segundos.

Se observa en la Tabla 28 que en la estación de Glasgow tiene una tendencia a detectar ráfagas solares de relevancia 1, más del 80%. En cambio, la estación de Peralejos tiene una tendencia a detectar ráfagas solares de relevancia 2.

La red e-CALLISTO de 5 a 14 segundos

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
1	391 (39.82%)	752 (65.91%)	218 (59.89%)
2	441 (44.91%)	280 (24.54%)	93 (25.55%)
3	150 (15.27%)	109 (9.55%)	53 (14.56%)
Total	982 (100%)	1141 (100%)	364 (100%)

Tabla 29. Valores absolutos (valores relativos) de la red e-CALLISTO según la intensidad y filtrado por la duración de 5 a 14 segundos.

Se observa en la Tabla 29 que en las tres estaciones hay una menor detección de ráfagas solares de relevancia 3.

La red e-CALLISTO de 15 a 59 segundos

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
1	302 (32.16%)	410 (53.04%)	140 (58.58%)
2	333 (35.46%)	183 (23.67%)	56 (23.43%)
3	304 (32.37%)	180 (23.29%)	43 (17.99%)
Total	982 (100%)	773 (100%)	239 (100%)

Tabla 30. Valores absolutos (valores relativos) de la red e-CALLISTO según la intensidad y filtrado por la duración de 15 a 59 segundos.

Se observa en la Tabla 30 que en las estaciones de Australia y de Glasgow hay un aumento de detecciones de ráfagas solares de relevancia 3. En cambio, la estación de Peralejos no se aprecia este aumento.

La red e-CALLISTO de 60 segundos o más

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
1	336 (33.33%)	47 (16.1%)	56 (38.89%)
2	492 (48.81%)	195 (66.78%)	51 (35.42%)
3	180 (17.86%)	50 (17.12%)	37 (25.69%)
Total	1008 (100%)	292 (100%)	144 (100%)

Tabla 31. Valores absolutos (valores relativos) de la red e-CALLISTO según la intensidad y filtrado por la duración de 60 segundos o más.

Se observa en la Tabla 31 que en las estaciones de Glasgow y Peralejos aumentan la detección de ráfagas solares de mayor relevancia, 2 y 3.

La red NOAA de menos de 60 segundos

Intensidad	Learmonth	San Vito
1	138 (72.63%)	139 (89.68%)
2	51 (26.84%)	16 (10.32%)
3	1 (0.53%)	- (-)
Total	190 (100%)	292 (100%)

Tabla 32. Valores absolutos (valores relativos) de la red NOAA según la intensidad y filtrado por la duración de menos de 60 segundos.

Se observa en la Tabla 32 que en la estación de Learmonth confirma que la estación de Australia detecta más ráfagas solares de mayor relevancia. También, la estación de San Vito confirma que las estaciones de Glasgow y Peralejos detecten más ráfagas de menor relevancia.

La red NOAA de 60 segundos o más

Intensidad	Learmonth	San Vito
1	270 (50.47%)	419 (68.91%)
2	237 (44.3%)	174 (28.62%)
3	28 (5.23%)	15 (2.47%)
Total	535 (100%)	608 (100%)

Tabla 33. Valores absolutos (valores relativos) de la red NOAA según la intensidad y filtrado por la duración de 60 segundos o más.

Se observa en la Tabla 33 que en la estación de Learmonth confirma que la estación de Australia detecte más llamaradas de relevancia 2. La estación de San Vito tiene una menor detección de ráfagas solares de relevancia 1 y un aumento de relevancia 2, hecho que también ocurre en las estaciones de Glasgow y Peralejos.

7.3. Duración.

Duración	Australia	Glasgow	Peralejos
De 0s a 4s	716 (19.64%)	645 (22.62%)	332 (30.77%)
De 5s a 14s	982 (26.94%)	1141 (40.02%)	364 (33.73%)
De 15s a 59s	939 (25.76%)	773 (27.11%)	239 (22.15%)
De 60s o más	1008 (27.65%)	292 (10.24%)	144 (13.35%)
Total	3645 (100%)	2851 (100%)	1079 (100%)

Tabla 34. Valores absolutos (valores relativos) según la duración de la red e-CALLISTO.

Duración	Learmonth	San Vito
De menos de 60s	190 (26.21%)	155 (20.31%)
De 60s o más	535 (73.79%)	608 (79.69%)
Total	725 (100%)	763 (100%)

Tabla 35. Valores absolutos (valores relativos) según la duración de la red NOAA.

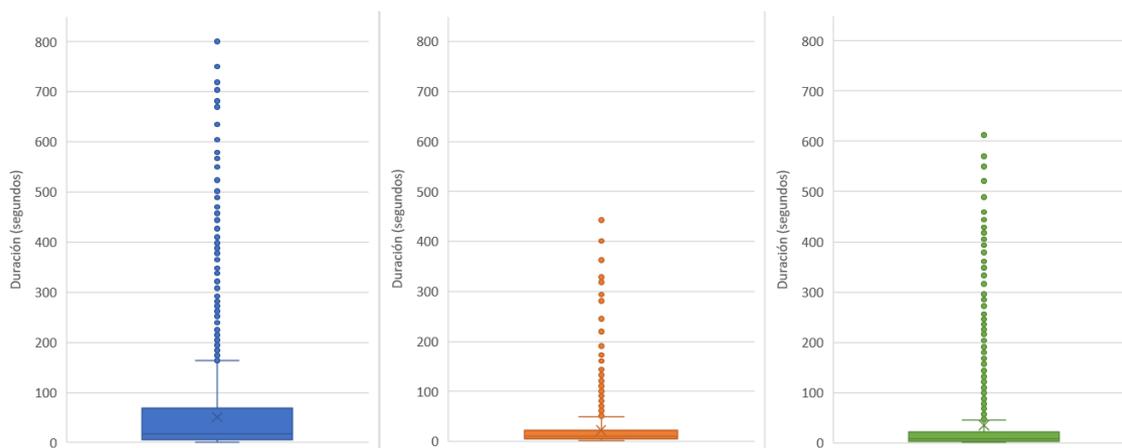


Gráfico 2. Diagramas de caja según la duración. A la izquierda corresponde a la estación de Australia-ASSA. En el centro corresponde a la estación de Glasgow. A la derecha corresponde a la estación de Peralejos.

Intensidad	Australia	Glasgow	Peralejos
Promedio	50.96s	22.18s	35.22s
Mínimo	1s	1s	1s
Primer cuartil	6s	5s	4s
Mediana	17s	10s	9s
Tercer cuartil	69s	23s	21s
Máximo	163s	50s	46s
Número de valores atípicos	905	709	169
Porcentaje de valores atípicos	$905/3645 = 24.83\%$	$709/2851 = 24.87\%$	$169/1079 = 15.66\%$

Tabla 36. Datos de los diagramas de cajas según la duración.

Se observa en la Tabla 34 que las estaciones detectan más ráfagas solares en el rango de 5 a 14 segundos.

La estación de Australia detecta más ráfagas solares de más de 60 segundos de duración. En cambio, las estaciones de Glasgow y Peralejos este tipo de ráfagas solares son las que menos se detectan.

En la Tabla 35 se observan los datos de duración procedentes de la red NOAA.

De la Gráfica 2 se observa que la estación de Peralejos llega a registrar ráfagas solares de mayor duración que la estación de Glasgow, pero igualmente, su rango de detección general está entre los 4 y 23 segundos.

De la información de los diagramas de caja según la duración Tabla 30, al haber valores muy extremos la mediana informa mejor del punto central de la distribución que la media. En este caso, el punto central de la duración de todas las ráfagas solares está entorno a los 12 segundos de duración.

7.4. Frecuencia.

Frecuencia	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
90-15 MHz	3009 (82.55%)	2851 (100%)	470 (43.56%)	150 (20.69%)	355 (46.53%)
180-45 MHz	18 (0.49%)	- (-)	558 (51.71%)	575 (79.31%)	408 (53.47%)
525-110 MHz	618 (16.95%)	- (-)	51 (4.73%)	- (-)	- (-)
Total	3645 (100%)	2851 (100%)	1079 (100%)	725 (100%)	763 (100%)

Tabla 37. Valores absolutos (valores relativos) según la frecuencia.

Se observa que en la Tabla 37 en la estación de Peralejos trabaja en los 3 rangos de frecuencia y se observa que las frecuencias de 90-15 MHz y, sobre todo, 180-45 MHz es donde más ráfagas solares registra. La estación de San Vito reafirma este hecho.

7.5. Meses.

Mes	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
Enero	1193 (32.73%)	185 (6.49%)	3 (0.28%)	48 (6.62%)	50 (6.55%)
Febrero	138 (3.79%)	124 (4.35%)	20 (1.85%)	64 (8.83%)	54 (7.08%)
Marzo	187 (5.13%)	145 (5.09%)	39 (3.61%)	78 (10.76%)	74 (9.7%)
Abril	186 (5.1%)	292 (10.24%)	63 (5.84%)	65 (8.97%)	101 (13.24%)
Mayo	275 (7.54%)	241 (8.45%)	79 (7.32%)	85 (11.72%)	119 (15.6%)
Junio	189 (5.19%)	582 (20.41%)	383 (35.5%)	44 (6.07%)	85 (11.14%)
Julio	68 (1.87%)	317 (11.12%)	279 (25.86%)	74 (10.21%)	92 (12.06%)
Agosto	116 (3.18%)	149 (5.23%)	8 (0.74%)	39 (5.38%)	37 (4.85%)
Septiembre	609 (16.71%)	213 (7.47%)	37 (3.43%)	90 (12.41%)	61 (7.99%)
Octubre	286 (7.85%)	216 (7.58%)	36 (3.34%)	57 (7.86%)	42 (5.5%)
Noviembre	139 (3.81%)	145 (5.09%)	119 (11.03%)	32 (4.41%)	16 (2.1%)
Diciembre	259 (7.11%)	242 (8.49%)	13 (1.2%)	49 (6.76%)	32 (4.19%)
Total	3645 (100%)	2851 (100%)	1079 (100%)	725 (100%)	763 (100%)

Tabla 38. Valores absolutos (valores relativos) según el mes.

Se observa en la Tabla 38 que en todas las estaciones se cumple un patrón que cuando se encuentra en los meses de verano se incrementa la detección de las ráfagas solares. Este fenómeno se entiende al recibir más horas de luz al día hay más posibilidades de detectar más ráfagas solares.

7.6. Horas.

Hora	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
De 0h a 5h UTC	1526 (41.87%)	82 (2.88%)	5 (0.46%)	443 (61.1%)	76 (9.96%)
De 6h a 11h UTC	1026 (28.15%)	1274 (44.69%)	403 (37.35%)	213 (29.38%)	383 (50.2%)
DE 12h a 17h UTC	51 (1.4%)	1444 (50.65%)	599 (55.51%)	- (-)	304 (39.84%)
De 18h a 23h UTC	1042 (28.59%)	51 (1.79%)	72 (6.67%)	69 (9.52%)	- (-)
Total	3645 (100%)	2851 (100%)	1079 (100%)	725 (100%)	763 (100%)

Tabla 39. Valores absolutos (valores relativos) según la hora.

Se observa en la Tabla 39 que en la estación de Australia registra más ráfagas solares de 0h a 5h UTC. Este hecho también ocurre en Learmonth, confirmando que es la mejor franja de horas para detectar ráfagas solares en Australia.

Las estaciones de Glasgow y Peralejos detectan más ráfagas solares de 12h a 17h UTC. En cambio, la estación de San Vito refleja una tendencia a detectar ráfagas solares de 6h a 11h UTC.

7.6.1. Filtro por meses.

De enero a marzo

Hora	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
De 0h a 5h UTC	582 (38.34%)	- (-)	- (-)	115 (60.53%)	7 (3.93%)
De 6h a 11h UTC	771 (50.79%)	178 (39.21%)	47 (75.81%)	60 (31.58%)	101 (56.74%)
DE 12h a 17h UTC	- (-)	274 (60.35%)	14 (22.58%)	- (-)	70 (39.33%)
De 18h a 23h UTC	165 (10.87%)	2 (0.44%)	1 (1.61%)	15 (7.89%)	- (-)
Total	1518 (100%)	454 (100%)	62 (100%)	190 (100%)	763 (100%)

Tabla 40. Valores absolutos (valores relativos) según la hora y filtrado de enero a marzo.

Se observa en la Tabla 40 que en la estación de Australia detecta un aumento de ráfagas solares de 6h a 11h UTC, igual que la estación de Peralejos.

De abril a junio

Hora	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
De 0h a 5h UTC	329 (50.62%)	48 (4.3%)	2 (0.38%)	130 (67.01%)	33 (10.82%)
De 6h a 11h UTC	64 (9.85%)	497 (44.57%)	192 (36.57%)	53 (27.32%)	140 (45.9%)
DE 12h a 17h UTC	- (-)	598 (47.35%)	317 (60.38%)	- (-)	132 (43.28%)
De 18h a 23h UTC	257 (39.54%)	42 (3.77%)	14 (2.67%)	11 (5.67%)	- (-)
Total	650 (100%)	1115 (100%)	525 (100%)	194 (100%)	305 (100%)

Tabla 41. Valores absolutos (valores relativos) según la hora y filtrado de abril a junio.

Se observa en la Tabla 41 que en la estación de Peralejos se detecta una ligera tendencia a detectar más ráfagas solares en el tramo de 12h a 17h UTC. Este hecho también ocurre en la estación de San Vito.

De julio a septiembre

Hora	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
De 0h a 5h UTC	375 (47.29%)	34 (5.01%)	3 (0.93%)	120 (59.11%)	28 (14.74%)
De 6h a 11h UTC	131 (16.52%)	312 (45.95%)	113 (34.88%)	57 (28.08%)	91 (47.89%)
DE 12h a 17h UTC	51 (6.43%)	326 (48.01%)	152 (46.91%)	- (-)	71 (37.37%)
De 18h a 23h UTC	236 (29.76%)	7 (1.03%)	56 (17.28%)	26 (12.81%)	- (-)
Total	793 (100%)	679 (100%)	324 (100%)	203 (100%)	190 (100%)

Tabla 42. Valores absolutos (valores relativos) según la hora y filtrado de julio a septiembre.

Se observa en la Tabla 42 que en la estación de Peralejos aumenta la detección de ráfagas solares en la franja horaria de 18h a 23h UTC.

De octubre a diciembre

Hora	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
De 0h a 5h UTC	240 (35.09%)	- (-)	- (-)	78 (56.52%)	8 (8.89%)
De 6h a 11h UTC	60 (8.77%)	287 (47.6%)	51 (30.36%)	43 (31.16%)	51 (56.67%)
DE 12h a 17h UTC	- (-)	316 (52.4%)	116 (69.05%)	- (-)	31 (34.44%)
De 18h a 23h UTC	384 (56.14%)	- (-)	1 (0.6%)	17 (12.32%)	- (-)
Total	684 (100%)	603 (100%)	168 (100%)	138 (100%)	90 (100%)

Tabla 43. Valores absolutos (valores relativos) según la hora y filtrado de octubre a diciembre.

Se observa en la Tabla 43 que en la estación de Australia aumenta la detección de ráfagas solares en la franja horaria de 18h a 23h UTC. Esta tendencia se observa ligeramente también en la estación de Learmonth.

7.7. Cuartos.

Cuartos	Australia	Glasgow	Peralejos	Learmonth	San Vito
1Q	739 (20.27%)	658 (23.08%)	291 (26.97%)	216 (29.79%)	194 (25.43%)
2Q	906 (24.86%)	749 (26.27%)	337 (31.23%)	179 (24.69%)	196 (25.69%)
3Q	1206 (33.09%)	706 (24.76%)	241 (22.34%)	155 (21.38%)	183 (23.98%)
4Q	794 (21.78%)	738 (25.89%)	210 (19.46%)	175 (24.14%)	190 (24.9%)
Total	3645 (100%)	2851 (100%)	1079 (100%)	725 (100%)	763 (100%)

Tabla 44. Valores absolutos (valores relativos) según el cuarto de hora.

Se observa en la Tabla 44 que en la estación de Australia un tercio de las ráfagas solares detectadas corresponden al tercer cuarto de hora. En cambio, la estación de Learmonth cuando menos ráfagas solares detecta es en este cuarto de hora.

La estación de Peralejos tiene una tendencia a detectar ráfagas solares en los dos primeros cuartos de hora.

7.8. Posición en la imagen.

Posición	Australia	Glasgow	Peralejos
FL	1352 (37.09%)	815 (28.59%)	298 (27.62%)
L	652 (17.89%)	536 (18.8%)	190 (17.61%)
C	622 (17.06%)	472 (16.56%)	206 (19.09%)
R	514 (14.1%)	497 (17.43%)	194 (17.98%)
FR	505 (13.85%)	531 (18.63%)	191 (17.7%)
Total	3645 (100%)	2851 (100%)	1079 (100%)

Tabla 45. Valores absolutos (valores relativos) según la posición en la imagen.

Se observa en la Tabla 45 que en todas las estaciones se observa una tendencia a detectar las ráfagas solares en la parte muy izquierda de la imagen.

7.9. Resumen de los resultados.

Finalmente, como último apartado de esta investigación, se destacarán y desarrollarán los puntos más relevantes del estudio de la detección de anomalías en radio espectrómetros solares mediante métodos estadísticos. Véase en la Tabla 46 y Tabla 47.

	Australia	Glasgow	Peralejos	Confirmado por
Intensidad	↑ relevancia 3	↑ relevancia 1		LEA y SVI
Intensidad. 180-45MHz.			↑ relevancia 2 y 3	SVI
Intensidad. Enero a marzo.	↑ relevancia 3	↓ relevancia 3	↓ relevancia 3	LEA y SVI
Intensidad. Abril a junio.	↑ relevancia 1 ↓ relevancia 3	↑ relevancia 2 y 3	↑ relevancia 2 y 3	SVI
Intensidad. Julio a septiembre.			↑ relevancia 2 ↓ relevancia 3	No apreciable
Intensidad. Octubre a diciembre.	↓ relevancia 3		↑ relevancia 1	LEA
Intensidad. 6h a 11h UTC.	↑ relevancia 3 ↓ relevancia 1			No apreciable

Tabla 46. Resumen de los resultados. Parte 1.

	Australia	Glasgow	Peralejos	Confirmado por
Intensidad. Primer cuarto de hora.	↑ relevancia 3		↑ relevancia 3	LEA
Intensidad. Tercer cuarto de hora.	↓ relevancia 3		↓ relevancia 3	LEA
Intensidad. Último cuarto de hora.			↑ relevancia 1 ↓ relevancia 3	SVI
Intensidad. Centrada en la imagen.	↑ relevancia 3		↓ relevancia 3	No entra en el campo de la red NOAA
Intensidad. A la derecha de la imagen.	↑ relevancia 3		↑ relevancia 2 y 3	No entra en el campo de la red NOAA
Intensidad. De 0 a 4 segundos.		↑ relevancia 1	↑ relevancia 2	No entra en el campo de la red NOAA
Intensidad. De 5 a 14 segundos.	↓ relevancia 3	↓ relevancia 3	↓ relevancia 3	No entra en el campo de la red NOAA
Intensidad. De 15 a 59 segundos.	↑ relevancia 3	↑ relevancia 3		No entra en el campo de la red NOAA
Intensidad. De 60 segundos o más.		↑ relevancia 2 y 3	↑ relevancia 2 y 3	No apreciable
Duración. De 60 segundos o más.	↑	↓	↓	No apreciable
Frecuencia. De 90-15MHz y 180-45MHz.			↑	No apreciable
Horas. De 0h a 5h UTC.	↑			LEA
Horas. De 12h a 17h UTC.		↑	↑	En SVI este aumento es de 6h a 11h UTC.
Cuartos. Tercer cuarto de hora.	↑			No apreciable
Cuartos. Primera media hora.			↑	No apreciable

Tabla 47. Resumen de los resultados. Parte 2.

El punto central de las ráfagas solares detectadas de la estación de Australia es de 3,36 dB de intensidad y 17 segundos de duración. La estación de Australia es donde más ráfagas solares de relevancia 3 detecta. En los meses de enero a marzo aumenta la detección de ráfagas solares de esta relevancia y, de abril a junio y de octubre a diciembre disminuye. En la estación de Learmonth también se aprecia esta tendencia.

Por horas, aumenta la detección de ráfagas solares desde las 0h UTC a 5h UTC y desde las 6h UTC hasta las 11h UTC aumenta la detección de ráfagas solares de relevancia 3 y disminuye las de relevancia 1. En el primer cuarto de hora aumenta la detección de ráfagas solares de relevancia 3 y en el tercer cuarto de hora disminuye las de esta relevancia. La tendencia de los cuartos se aprecia en la estación de Learmonth.

El punto central de las ráfagas solares detectadas de la estación de Glasgow es de 2,77 dB de intensidad y 10 segundos de duración. La estación de Glasgow es donde más ráfagas solares de relevancia 1 detecta. Por duración, a partir de los 15 segundos aumenta la detección de ráfagas solares de relevancia 3.

El punto central de las ráfagas solares detectadas de la estación de Peralejos es de 2,96 dB de intensidad y 9 segundos de duración. La estación de Peralejos aumenta la detección de ráfagas solares de mayor relevancia en el rango de frecuencias de 180-45 MHz.

Por horas, en la primera media hora detecta un mayor número de ráfagas solares y, al igual que Australia, en el primer cuarto aumenta la detección de ráfagas solares de relevancia 3 y en el tercer cuarto disminuye.

Centrada en la imagen disminuye la detección de ráfagas solares de relevancia 3 y a la derecha de la imagen aumenta. En Australia aumenta en ambas posiciones.

Las estaciones de Glasgow y Peralejos tienen varias similitudes entre ellas. En los meses de enero a marzo disminuye la detección de ráfagas solares de relevancia 3 y en los meses de abril a junio aumentan la detección de ráfagas solares de esta relevancia. En la estación de San Vito se aprecia esta tendencia.

Por horas, aumenta la detección de ráfagas solares desde las 12h UTC hasta las 17h UTC. Sin embargo, en la estación de San Vito aumenta la detección de ráfagas solares desde las 6h UTC hasta las 11h UTC.

En las estaciones de Glasgow y Peralejos el rango de mayor detección de ráfagas solares es desde los 4 segundos hasta los 23. En cambio, en las tres estaciones, en el intervalo de 5 a 14 segundos disminuye la detección de ráfagas solares de relevancia 3.

También en las tres estaciones, más del 25% de las ráfagas solares detectadas corresponden a la posición muy a la izquierda de la imagen.

8. CAPACIDAD DE DETECCIÓN.

El objetivo del presente estudio trata de conocer la proporción de ráfagas reales detectadas al seleccionar una muestra.

Se ha hecho uso de datos procedentes de la red e-CALLISTO donde verifican la aparición de una ráfaga solar en el espectrograma, estos son los valores reales, véase Tabla 48. Por otro lado, llamamos valores de la muestra a los datos procedentes del análisis automático de este trabajo, véase Tabla 49.

Para la extracción de la muestra se han recogido los datos correspondientes al periodo desde agosto de 2021 hasta julio de 2022, en 3 de las 68 estaciones de interés: Australia, Glasgow, Peralejos.

En el estudio se distinguen dos conjuntos de datos:

- *Datos Reales*: datos de ráfagas solares que han sido detectadas y no detectadas.
- *Datos de la muestra*: datos de ráfagas solares detectadas más datos de falsos positivos.
- La intersección de ambos conjuntos corresponde a las ráfagas solares detectadas.

Se denominan “detectadas” a las ráfagas solares que coinciden de los datos procedentes de la red e-CALLISTO y los datos procedentes del análisis automático de este proyecto.

Se califican “no detectadas” a las ráfagas solares que se encuentran en los datos procedentes de la red e-CALLISTO y no en los datos procedentes del análisis automático de este trabajo.

En último lugar, se denominan “falsos positivos” a las ráfagas solares que se encuentran en los datos procedentes del análisis automático de este proyecto y no en los datos procedentes de la red e-CALLISTO.

Por ejemplo, si los valores reales informan que se han detectado 100 ráfagas solares verídicas y los valores de la muestra advierten que se han encontrado 200. Acto seguido, al cruzar los detalles de ambos apartados coinciden 75. Eso significa que hay 75 ráfagas solares detectadas, 25 ráfagas solares no detectadas y 125 ráfagas solares son falsos positivos. Siendo este ejemplo más visual en la Figura 17.

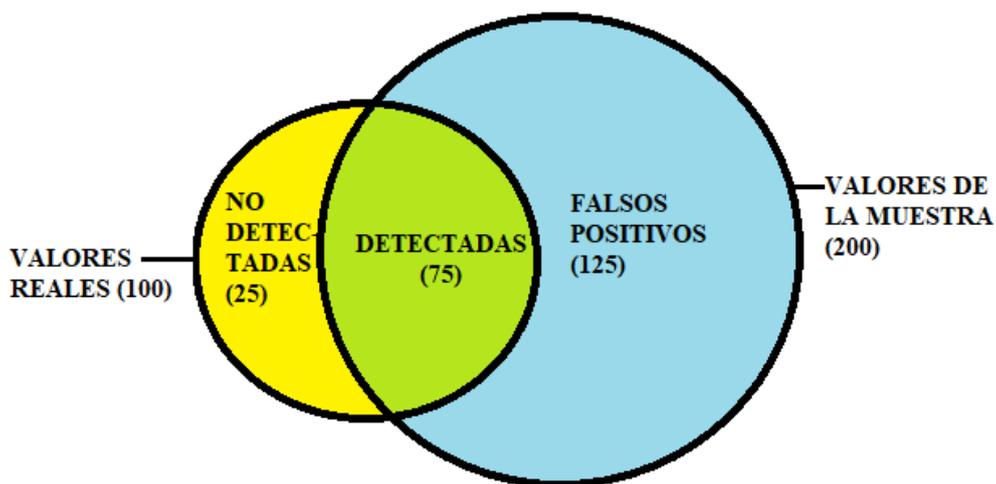


Figura 17. Ejemplo visual de la extracción de ráfagas solares detectadas, no detectadas y falsos positivos.

Los falsos positivos se encuentran relacionados con el ruido del espectrograma, lo que significa que los criterios de este trabajo no son capaces de eludir estas interferencias.

Las ráfagas solares no detectadas guardan relación con el método para detectar ráfagas solares al ser demasiado restrictivo y no entrar dentro de los valores de la muestra.

En esta sección se podrá observar cuán alejados se encuentran el modelo planteado en este proyecto con los valores reales. A mayor proporción de ráfagas detectadas, obtendremos mayor fiabilidad en las conclusiones expresadas en “Resultados y análisis estadístico”.

Cabe destacar que, al utilizar en el proyecto la información desde agosto de 2021 hasta julio de 2022 en el actual apartado se usarán los mismos rangos. Con la ausencia de datos en el mes de diciembre de 2021, es por ello que no se muestra en las tablas.

Valores Reales	Australia	Glasgow	Peralejos
Agosto de 2021	76	63	1
Septiembre de 2021	167	148	17
Octubre de 2021	175	113	15
Noviembre de 2021	86	36	1
Enero de 2022	180	156	4
Febrero de 2022	175	76	6
Marzo de 2022	146	88	35
Abril de 2022	156	377	30
Mayo de 2022	173	190	40
Junio de 2022	113	435	145
Julio de 2022	78	199	72

Tabla 48. Total de las ráfagas solares detectadas por medio de los valores reales.

Valores de la Muestra	Australia	Glasgow	Peralejos
Agosto de 2021	116	149	8
Septiembre de 2021	609	213	37
Octubre de 2021	286	216	36
Noviembre de 2021	139	145	119
Enero de 2022	1193	185	3
Febrero de 2022	138	124	20
Marzo de 2022	187	145	39
Abril de 2022	186	292	63
Mayo de 2022	275	241	79
Junio de 2022	189	582	383
Julio de 2022	68	317	279

Tabla 49. Total de las ráfagas solares detectadas por medio de los valores de la muestra.

Al cruzar los valores reales de las ráfagas solares con los valores de la muestra, nos proporciona dos tipos de información bien diferenciados. Por un lado, la relación de las ráfagas solares detectadas y no detectadas. Y, por otro lado, la relación de las ráfagas solares detectadas y los falsos positivos.

8.1. Ráfagas solares detectadas y no detectadas.

Australia

Australia	Detectadas	No detectadas
Agosto de 2021	40 (52.63%)	36 (47.37%)
Septiembre de 2021	138 (82.63%)	29 (17.37%)
Octubre de 2021	93 (53.14%)	82 (46.86%)
Noviembre de 2021	45 (52.33%)	41 (47.67%)
Enero de 2022	122 (67.78%)	58 (32.22%)
Febrero de 2022	78 (44.57%)	97 (55.43%)
Marzo de 2022	55 (37.67%)	91 (62.33%)
Abril de 2022	84 (53.85%)	72 (46.15%)
Mayo de 2022	55 (31.79%)	118 (68.21%)
Junio de 2022	61 (53.98%)	52 (46.02%)
Julio de 2022	30 (38.46%)	48 (61.54%)
Total	801 (52.52%)	724 (47.48%)

Tabla 50. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y no detectadas de la estación de Australia.

La estación de Australia se contiene en un rango entorno al 50% de ráfagas solares detectadas de los valores y otro 50% de no detectadas, como se puede observar en la Tabla 50. En el mes de septiembre de 2021 ha sido el mes en el que mejor rendimiento ha tenido en la detección de ráfagas solares tanto en valores absolutos como en porcentaje. En cambio, el mes de mayo de 2022 ha sido el peor mes en esta característica.

Los resultados totales de esta estación dan un porcentaje de ráfagas solares detectadas del 52,52%, y no detectadas del 47,48%. Como se verá a continuación, Australia es la peor estación en este apartado.

Glasgow

Glasgow	Detectadas	No detectadas
Agosto de 2021	4 (74.6%)	16 (25.4%)
Septiembre de 2021	124 (83.78%)	24 (16.22%)
Octubre de 2021	71 (62.83%)	42 (37.17%)
Noviembre de 2021	31 (86.11%)	5 (13.89%)
Enero de 2022	86 (55.13%)	70 (44.87%)
Febrero de 2022	74 (97.37%)	2 (2.63%)
Marzo de 2022	43 (48.86%)	45 (51.14%)
Abril de 2022	204 (54.11%)	173 (45.89%)
Mayo de 2022	113 (59.47%)	77 (40.53%)
Junio de 2022	355 (81.61%)	80 (18.39%)
Julio de 2022	157 (78.89%)	42 (21.11%)
Total	1305 (69.38%)	576 (30.62%)

Tabla 51. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y no detectadas de la estación de Glasgow.

Los resultados totales de la estación de Glasgow dan un porcentaje de ráfagas solares detectadas casi del 70%, y no detectadas cercano al 30%. También, en valores absolutos es la estación que más ráfagas solares detectadas ha localizado.

Esta estación tiene excelentes meses donde el rendimiento de detección de ráfagas solares se encuentra entorno al 85%, como septiembre y noviembre de 2021 y junio de 2022. Sin embargo, cabe destacar, el mes de febrero de 2022 rozando el 100% de detecciones, como se puede observar en la Tabla 51.

Peralejos

Peralejos	Detectadas	No detectadas
Agosto de 2021	0 (0%)	1 (100%)
Septiembre de 2021	8 (47.06%)	9 (52.94%)
Octubre de 2021	7 (46.67%)	8 (53.33%)
Noviembre de 2021	0 (0%)	1 (100%)
Enero de 2022	2 (50%)	2 (50%)
Febrero de 2022	2 (33.33%)	4 (66.67%)
Marzo de 2022	20 (57.14%)	15 (42.86%)
Abril de 2022	15 (50%)	15 (50%)
Mayo de 2022	22 (55%)	18 (45%)
Junio de 2022	98 (67.59%)	47 (32.41%)
Julio de 2022	54 (75%)	18 (25%)
Total	228 (62.3%)	138 (37.7%)

Tabla 52. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y no detectadas de la estación de Peralejos.

Como se puede observar en la Tabla 52 en la estación de Peralejos, los primeros meses tienen un bajo número de ráfagas solares detectadas y no detectadas. En cambio, a partir del mes de marzo de 2021 mejora en este apartado progresivamente.

Por lo tanto, a partir de marzo de 2021, los meses que mejor rendimiento han tenido en la detección de ráfagas solares es en junio de 2022 en valor absoluto con 98 ráfagas solares y en julio de 2022 en porcentaje con un 75% de acierto.

De forma general, la estación de Peralejos en este apartado tiene un rendimiento del 62,3% mejorando a la estación de Australia y empeorando la estación de Glasgow.

Total

Total	Detectadas	No detectadas
Agosto de 2021	87 (62.14%)	53 (37.86%)
Septiembre de 2021	270 (81.33%)	62 (18.67%)
Octubre de 2021	171 (56.44%)	132 (43.56%)
Noviembre de 2021	76 (61.79%)	47 (38.21%)
Enero de 2022	210 (61.76%)	130 (38.24%)
Febrero de 2022	154 (59.92%)	103 (40.08%)
Marzo de 2022	118 (43.87%)	151 (56.13%)
Abril de 2022	303 (53.82%)	260 (46.18%)
Mayo de 2022	190 (47.15%)	213 (52.85%)
Junio de 2022	514 (74.17%)	179 (25.83%)
Julio de 2022	241 (69.05%)	108 (30.95%)
Total	2334 (61.88%)	1438 (38.12%)

Tabla 53. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y no detectadas totales de las tres estaciones utilizadas.

Reuniendo la información de las tres estaciones analizadas se obtiene la Tabla 53 de la que se puede extraer conclusiones generales del proyecto.

Septiembre 2021 ha sido el mes con más porcentaje de detección de ráfagas solares en porcentaje con un 81,33%. En cambio, marzo de 2022 ha sido el mes con más ráfagas solares no detectadas en porcentaje con un 56,13%.

Lo interesante de este apartado, es que el total de las ráfagas solares verídicas procedente de los valores reales, se detectarán por medio del análisis de este proyecto el 61,88% y habrá un 38,12% de ráfagas solares que este trabajo que no se detectarán y si deben pertenecer a este análisis.

En conclusión, las ráfagas solares procedentes de los valores reales se han usado en el proyecto el 60%, el otro 40%, no han sido detectadas. Siendo el mes de septiembre de 2021 donde mejor porcentaje de detección de ráfagas solares con un 81% y el mes de marzo donde peor porcentaje con un 44%.

8.2. Ráfagas solares detectadas y falsos positivos.

Australia

Australia	Detectadas	Falsos Positivos
Agosto de 2021	40 (34.48%)	76 (65.52%)
Septiembre de 2021	138 (22.66%)	471 (77.34%)
Octubre de 2021	93 (32.52%)	193 (67.48%)
Noviembre de 2021	45 (32.37%)	94 (67.63%)
Enero de 2022	122 (10.23%)	1071 (89.77%)
Febrero de 2022	78 (56.52%)	60 (43.48%)
Marzo de 2022	55 (29.41%)	132 (70.59%)
Abril de 2022	84 (45.16%)	102 (54.84%)
Mayo de 2022	55 (20%)	220 (80%)
Junio de 2022	61 (32.28%)	128 (67.72%)
Julio de 2022	30 (44.12%)	38 (55.88%)
Total	801 (23.66%)	2585 (76.34%)

Tabla 54. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y falsos positivos de la estación de Australia.

Se observa en la Tabla 54 que en la estación de Australia usando los valores de la muestra, el 23,66% han sido ráfagas solares detectadas con acierto, eso quiere decir que hay un 76,34% de ráfagas solares detectadas que no eran verídicas.

Un gran hándicap es el mes de enero de 2022 encontrando casi un 90% de estos falsos positivos, en valores absolutos son 1071 ráfagas solares detectadas que no lo eran (habiendo un total de 2585).

En cambio, en el mes de febrero de 2022, el porcentaje de falsos positivos detectados es del 43,4% el más bajo de esta estación.

Glasgow

Glasgow	Detectadas	Falsos Positivos
Agosto de 2021	47 (31.54%)	102 (68.46%)
Septiembre de 2021	124 (58.22%)	89 (41.78%)
Octubre de 2021	71 (32.87%)	145 (67.13%)
Noviembre de 2021	31 (21.38%)	114 (78.62%)
Enero de 2022	86 (46.49%)	99 (53.51%)
Febrero de 2022	74 (59.68%)	50 (40.32%)
Marzo de 2022	43 (29.66%)	102 (70.34%)
Abril de 2022	204 (69.86%)	88 (30.14%)
Mayo de 2022	113 (46.89%)	128 (53.11%)
Junio de 2022	355 (61%)	227 (39%)
Julio de 2022	157 (49.53%)	160 (50.47%)
Total	1305 (50.02%)	1304 (49.98%)

Tabla 55. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y falsos positivos de la estación de Glasgow.

Glasgow es la estación que, dejando por debajo ligeramente el 50% de falsos positivos, mejor funciona en este aspecto. Doblando en mejor rendimiento a las estaciones de Australia y Peralejos.

También, cabe destacar que, aunque Australia sea la estación con más ráfagas solares detectadas, Glasgow es la estación con más ráfagas solares bien detectadas. Notando el amplio porcentaje de falsos positivos de la estación de Australia y la mejor productividad de Glasgow con los criterios de nuestro proyecto.

Se observa en la Tabla 55 el mes con más porcentaje de falsos positivos es en noviembre de 2021, y abril de 2022 es el mes con menos porcentaje.

Peralejos

Peralejos	Detectadas	Falsos Positivos
Agosto de 2021	0 (0%)	8 (100%)
Septiembre de 2021	8 (21.62%)	29 (78.38%)
Octubre de 2021	7 (19.44%)	29 (80.56%)
Noviembre de 2021	0 (0%)	119 (100%)
Enero de 2022	2 (66.67%)	1 (33.33%)
Febrero de 2022	2 (10%)	18 (90%)
Marzo de 2022	20 (51.28%)	19 (48.72%)
Abril de 2022	15 (23.81%)	48 (76.19%)
Mayo de 2022	22 (27.85%)	57 (72.15%)
Junio de 2022	98 (25.59%)	285 (74.41%)
Julio de 2022	54 (19.35%)	225 (80.65%)
Total	228 (21.39%)	838 (78.61%)

Tabla 56. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y falsos positivos de la estación de Peralejos.

En la Tabla 56 se observa que la estación de Peralejos es donde más falsos positivos se registran con un 78,61%.

El mes de noviembre de 2021 todas las ráfagas detectadas son falsos positivos, siendo un total de 119 en valores absolutos. En cambio, enero de 2022 solo detecta una ráfaga solar que resulta ser un falso positivo que representa el 33,33%, siendo este su mejor mes en este aspecto.

Totales

Total	Detectadas	Falsos Positivos
Agosto de 2021	87 (31.87%)	186 (68.13%)
Septiembre de 2021	270 (31.43%)	589 (68.57%)
Octubre de 2021	171 (31.78%)	367 (68.22%)
Noviembre de 2021	76 (18.86%)	327 (81.14%)
Enero de 2022	210 (15.21%)	1171 (84.79%)
Febrero de 2022	154 (54.61%)	128 (45.39%)
Marzo de 2022	118 (31.81%)	253 (68.19%)
Abril de 2022	303 (56.01%)	238 (43.99%)
Mayo de 2022	190 (31.93%)	405 (68.07%)
Junio de 2022	514 (44.54%)	640 (55.46%)
Julio de 2022	241 (36.3%)	423 (63.7%)
Total	2334 (33.05%)	4797 (66.95%)

Tabla 57. Valores absolutos (valores relativos) de las ráfagas solares detectadas y falsos positivos totales de las tres estaciones utilizadas.

Reuniendo la información de las tres estaciones analizadas se obtiene la Tabla 57 de la que se puede extraer conclusiones generales del proyecto.

Enero de 2022 es el mes que más falsos positivos que se han registrado con 1171 y una representación del 84,79%. En esta parte tiene un gran peso la estación de Australia al ser de su responsabilidad 1071.

Por otro lado, abril de 2022 es el mes que menos falsos positivos se han registrado con un 43,99%.

Lo interesante de este apartado, es que el total de las ráfagas solares analizadas en el proyecto el 66.95% representan falsos positivos y, en conclusión, al tomar una muestra se podrán detectar una de cada tres ráfagas reales siendo los otros dos falsos positivos.

8.3. Estimaciones.

Usando los valores totales se puede llegar a realizar una estimación generalizada del funcionamiento de este proyecto en otras estaciones de la red e-CALLISTO.

En primer lugar, se debe obtener los valores reales dentro de los plazos analizados de la estación de la que se quiere realizar la estimación.

En segundo lugar, se aplicará los valores en porcentaje de la Tabla 57, que son los valores totales de este proyecto. Obteniendo una predicción de las ráfagas solares bien detectadas y una de falsos positivos.

Realizando estos dos pasos, se puede obtener una estimación generalizada de cualquier estación de la red e-CALLISTO. Véase el ejemplo de la Tabla 58.

Estimación	Estación	Proyecto		Estación	
		Valores Reales	% Detectadas	% Falsos Positivos	Estimación Detectadas
Agosto de 2021	140	31.87%	68.13%	45	95
Septiembre de 2021	332	31.43%	68.57%	104	228
Octubre de 2021	303	31.78%	68.22%	96	207
Noviembre de 2021	123	18.86%	81.14%	23	100
Enero de 2022	340	15.21%	84.79%	52	288
Febrero de 2022	257	54.61%	45.39%	140	117
Marzo de 2022	269	31.81%	68.19%	86	183
Abril de 2022	563	56.01%	43.99%	315	248
Mayo de 2022	403	31.93%	68.07%	129	274
Junio de 2022	693	44.54%	55.46%	309	384
Julio de 2022	349	36.3%	63.7%	127	222
Total	3772	33.05%	66.95%	1247	2525

Tabla 58. Ejemplo de estimación generalizada del proyecto para otras estaciones de la red e-CALLISTO.

Teniendo en cuenta el gran abanico de técnicas estadísticas aplicables a los datos, sería interesante el cálculo de *clustering* que permitiera detectar las estaciones con comportamientos similares a las registradas en la muestra. Y con todo ello generar una predicción más ajustada al funcionamiento del proyecto en cada una de las estaciones no identificadas en la muestra y contenidas en la red e-CALLISTO.

Por ello, considero que es mejor aplicar los valores totales, como en la Tabla 58, para que este método pueda ser universal con todas las estaciones de la red e-CALLISTO.

9. CONCLUSIONES.

Mediante la detección automática del presente proyecto y su posterior análisis se han llegado a las siguientes conclusiones:

En primer lugar, es bastante notorio que la estación de Australia es la que mejor funciona de toda la red debido a que detecta con más facilidad ráfagas solares de mayor relevancia y de mayor duración. Sin embargo, el lugar tiene un papel importante en este aspecto debido a que la estación de Learmonth también supera en estos aspectos a la estación de San Vito.

En segundo lugar, la estación de Glasgow tiene un hándicap respecto a las otras dos estaciones y es que trabaja solo por debajo de los 100 MHz de frecuencia. Como se ha visto, trabajar a frecuencias por encima de los 100MHz de frecuencia hace detectar una mayor proporción de ráfagas solares de mayor relevancia.

En tercer lugar, la estación de Peralejos tiene bastante más similitudes con la estación de Australia que con la estación de Glasgow, aunque este en el otro lado del globo terrestre. Además, cronológicamente, los últimos meses analizados (desde marzo hasta julio de 2022) se puede observar un aumento considerable de detección de ráfagas solares comparable a las otras estaciones de la red e-CALLISTO.

Para ayudar a la estación de Peralejos, o cualquier estación de observación solar, es primordial concentrar los esfuerzos en las horas centrales del día que es cuando más ráfagas solares se detecta y de mayor relevancia. En el amanecer y en el atardecer se detectan menos ráfagas solares y de menos relevancia. Por todo ello, también es importante centrarse en los meses de mayor exposición al sol, finales de primavera y principios de verano.

En quinto y último lugar, es importante que la estación pueda trabajar con las frecuencias de rangos: 90-15 MHz y 180-45 MHz; dado que la primera es la que más ráfagas solares detecta y la segunda es la que más ráfagas solares de relevancia 3 encuentra.

Sin embargo, realizando un estudio con el objetivo de obtener la fiabilidad del presente proyecto se ha obtenido que dos de cada tres de las detecciones automatizadas de ráfagas solares: son falsos positivos.

No obstante, en este mismo estudio, se refleja que algo más del 60% de las ráfagas solares verídicas son detectadas por la detección automática de este proyecto.

Por ende, este proyecto muestra la gran dificultad de creación, desarrollo y seguimiento de un programa de detección de ráfagas solares. Esto se debe a que es necesario tener en cuenta distintos parámetros, tales como la ubicación, la fecha, la duración y la intensidad. Asimismo, la variación de dichos parámetros es un punto imprescindible para poder llegar a elaborar un sistema, cuyos resultados lleguen a ser completamente exactos. Sin embargo, lo más delicado de determinar guiándonos por distintos espectrogramas, ha sido poder diferenciar la posible ráfaga de un ruido. Pues, es una tarea de localización bastante sutil y difícil de automatizar.

Luego, debido al alto porcentaje de falsos positivos del programa desarrollado se debe concluir que las conclusiones a las que se llegan no tienen una alta fiabilidad.

10. REFERENCIAS.

- [1] Física de la Corona Solar, Springer, 2005.
- [2] D. E. ... Gary y C. U. Keller, Radiofísica del tiempo solar y espacial, 2005.
- [3] G. A. Dulk, «Emisión de radio del sol y las estrellas,» *Revista anual de astronomía y astrofísica*, nº 23, pp. 169-224, 1985.
- [4] C. Monstein, «International Network of Solar Radio Spectrometers, a Space Weather Instrument Array,» e-Callisto, 29 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://e-callisto.org/index.html>. [Último acceso: Febrero 2022].
- [5] «Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica,» [En línea]. Available: <https://www.usa.gov/espanol/agencias-federales/oficina-nacional-de-administracion-oceanica-y-atmosferica>. [Último acceso: Julio 2022].
- [6] C. Monstein, «Observation coverage and Antennas of the Solar Radio Spectrometer network e-Callisto,» e-Callisto, 12 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://e-callisto.org/coverage/coverage.html>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [7] C. Monstein, «Lightning destroys low noise amplifier in a new Callisto observatory,» e-CALLISTO, 26 Mayo 2013. [En línea]. Available: https://e-callisto.org/GeneralDocuments/Monstein_lightningstroke_RvEdit2.pdf. [Último acceso: Julio 2022].
- [8] «Python,» Wikipedia, 9 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Python>. [Último acceso: Julio 2022].

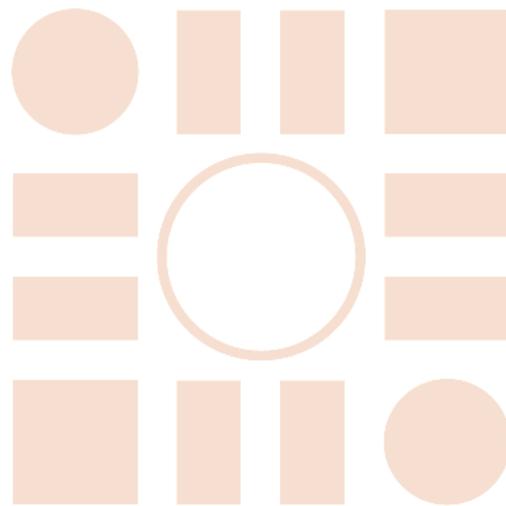
11. ANEXOS.

11.1. ANEXO 1. Ejemplo de archivo de texto proporcionado por NOAA.

```

:Product: 20220623events.txt
:Created: 2022 Jun 24 0627 UT
>Date: 2022 06 23
# Prepared by the U.S. Dept. of Commerce, NOAA, Space Weather Prediction Center
# Please send comments and suggestions to SWPC.Webmaster@noaa.gov
#
# Missing data: ////
# Updated every 5 minutes.
#
#                               Edited Events for 2022 Jun 23
#
#Event   Begin   Max     End  Obs  Q  Type  Loc/Frq  Particulars  Reg#
#-----
3000 +   0040   ////    0818  LEA  C  RSP  025-180  VI/1
3010     0515   ////    0743  SVI  C  RSP  025-083  VI/1
3030     0849  1120    1228  G16  5  XRA  1-8A    C4.0    3.0E-02  3034
3020 +   1422  1427    1432  G16  5  XRA  1-8A    C1.1    6.1E-04  3038
3020 +   1431   ////    1528  SVI  C  RSP  025-059  VI/1
3070     1729   ////    2258  SAG  C  RSP  025-052  CTM/2
3070     1748   ////    2359  PAL  C  RSP  025-180  VI/2
3080     1852   ////    2359  PAL  C  RSP  025-044  CTM/2
3040 +   1957  2009    2019  G16  5  XRA  1-8A    C2.2    2.0E-03  3038
3050     2019  2023    2031  G16  5  XRA  1-8A    C3.6    2.1E-03  3038
3060 +   2202  2210    2214  G16  5  XRA  1-8A    C1.9    6.3E-04  3038
3090     2339   ////    2341  LEA  C  RSP  063-175  III/1
    
```


Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá