



2^a
EDICIÓN

JORNADAS METEOROLÓGICAS DEL URUGUAY

Soluciones Campbell Scientific

Su aplicación. Sus necesidades. Su solución.

Somos un diseñador y fabricante líder de registradores de datos, sistemas de adquisición de datos y productos de medición y control utilizados en todo el mundo en una variedad de aplicaciones relacionadas con el Clima, Hidrología, Energía Solar y Eólica, Minas y Represas, y Agricultura. Nos especializamos en sistemas robustos de bajo consumo para monitoreo y control autónomos a largo plazo.

En Campbell Scientific, estamos orgullosos de ser reconocidos nacional e internacionalmente en la industria de Instrumentación para medición y el control en los proyectos de su organización.

Nuestros servicios:

- Consultoría y Asesoría para su proyecto de Instrumentación.
- Instrumentación de monitoreo de Aguas superficiales.
- Instrumentación de Investigación Agrícola y de Suelos.
- Diseño de sistemas de Adquisición de Datos.
- Instrumentación de Calidad del Agua.
- Medición de gases de cambio climático y medición de contaminación.
- Instrumentos Meteorológicos.
- Estaciones Meteorológicas Automáticas (AWS).
- Estaciones Hidrológicas Automáticas.
- Estaciones Meteorológicas Marinas.
- Sistemas AWOS: Observación meteorológica automatizada, medición y comunicación de las condiciones meteorológicas para aplicaciones aeronáuticas.
- Estaciones solares y eólicas para prospección y la operación de proyectos.
- Automatización e Instrumentación de Represas.
- Mantenimientos preventivos en Represas.
- Diseño, instalación, puesta en marcha y mantenimiento en proyectos de meteorología, infraestructura y energías renovables.

Todos los servicios son prestados y respaldados por IRRIS SYSTEMS S.A. desde hace más de 17 años.

ÍNDICE



- 5** PALABRAS DEL PRESIDENTE
- 6** PALABRAS DEL DIRECTOR
- 7** **METEOROLOGÍA Y SOCIEDAD**
- 8** CLIMA Y SALUD
- 11** TORNADO EN DOLORES, SORIANO, EL 15 DE ABRIL DE 2016.
- 17** **METEOROLOGÍA Y PRODUCCIÓN**
- 18** SEQUÍA 2020-2023 EN URUGUAY
- 21** CONTRIBUCIÓN DEL MONITOREO METEOROLÓGICO AL ESTUDIO FENOLÓGICO DE MAÍZ CRIOLLO EN LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA, URUGUAY
- 24** DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE FLUJO DE SAVIA EN EUCALIPTUS Y SU RELACIÓN CON EL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR.
- 27** **METEOROLOGÍA Y TECNOLOGÍA**
- 29** "VIABILIDAD DEL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LATITUDES SUPERIORES A LOS 60°"
- 31** PROTOTIPO DE MICROESTACIÓN METEOROLÓGICA DE BAJO COSTO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES EN ARDUINO
- 34** ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS DE PRECIPITACIONES EN LAS ESTACIONES DE INUMET: PATRONES Y COMPORTAMIENTOS DE LAS LLUVIAS EN URUGUAY (1991-2021)
- 37** EL CAMPO DE HUMEDAD Y EL FLUJO DE HUMEDAD EN 925 HPA EN EVENTOS DE PRECIPITACIÓN SIGNIFICATIVOS SOBRE URUGUAY
- 41** CONTRIBUCIÓN A LA CLIMATOLOGÍA DESDE ESTACIONES SATELITALES GNSS
- 44** EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS EN ÁREAS DEL RÍO DE LA PLATA; CONTRIBUCIONES DEL SENSORAMIENTO REMOTO EN EL PRONÓSTICO Y MONITOREO ATMOSFÉRICO
- 47** SIMULACIÓN DE PRECIPITACIÓN PARA EL CÁLCULO DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN LA CUENCA DEL RÍO NEGRO
- 50** OBSERVACIONES DE OZONO ESTRATOFÉRICO REALIZADAS EN SALTO



GRUNERT
INGENIERIA ELÉCTRICA
Dr. J. Barrios Amorín 1515
U 11200 Montevideo
URUGUAY
info@grunert.com.uy

JORGE GRUNERT

METEOROLOGÍA EN GENERAL

Somos proveedores de:

- Estaciones automáticas especiales y para el agro
- Sensores/indicadores de viento, presión, temperatura, humedad, radiación solar, entre otros.
- Mástiles de uso en estaciones meteorológicas y aeropuertos
- Termómetros de uso meteorológico y especiales
- Molinetes hidráulicos para medir caudal de agua canales, ríos, etc.
- Bandas de registro para instrumentos meteorológicos de cualquier tipo.

Representantes de:

DR. ALFRED MÜLLER
METEOROLOGISCHE INSTRUMENTE KG
R. FUSS





El Instituto Uruguayo de Meteorología presentó la 2° Edición de las Jornadas Meteorológicas del Uruguay. La misma surge por la necesidad de crear espacios donde se pueda aprender, debatir y compartir la meteorología como ciencia transversal en la actividad humana. Se abordará el tema en tres grandes ejes; la meteorología y su incidencia en la sociedad, en la producción y en la tecnología. Los invitamos a que sean parte quienes se sientan y se definan como apasionados de la meteorología en toda la comunidad.

Áreas Temáticas:

1. Meteorología y sociedad: Productos y aplicaciones para la población y para el sector educación, extensión universitaria y divulgación en meteorología. Comunicación al público, programas gubernamentales a nivel nacional y regional. Cambio climático y/o variabilidad climática.

2. Meteorología y producción: Estudio de los procesos que vinculan las condiciones atmosféricas y climatológicas con las diferentes actividades productivas. Toma de decisiones en el sector productivo que involucre variables ambientales. Por ejemplo, producción y demanda de energía, producción agrícola, pesquera e industrial, transporte (marítimo y aéreo), servicios, entre otros.

3. Meteorología y tecnología: Metodologías para análisis de datos (estadísticas y numéricas, visualización, control de calidad, etc). Diseño de redes de medición, sistemas de comunicación y adquisición de datos, instrumental, sistemas de visualización, sensores remotos.

La presente publicación no representa la palabra oficial del Instituto Uruguayo de Meteorología; la misma tiene el fin de divulgar trabajos científicos-técnicos sobre meteorología y su importancia en el desarrollo de la sociedad.

Directorio del Inumet:

Presidente Cnel. (R) Lic. Pablo Cabrera

Vicepresidente Dr. Alejandro Navarro

Director Dr. Diego Plada

Gerente Técnico

Tte. Cnel. (Av) (R) MSc. Yamandú Morán

Staff de JORNAMET

Lic. Agustina Arana

Lic. Belén Rivero

Sra. Daniela Perera

Sra. Mabel Rodríguez

Téc. María Virginia Vera

Sra. Pamela Arenas

Sra. Valentina Loyarte

Sra. Virginia Salavarry

Comité Científico

Met. Natalí Bentancor

Téc. Met. Silvana Ferrero

Lic. Vanessa Bentancur

Comunicación Institucional

Lic. Agustina Arana

Lic. Belén Rivero

Téc. María Virginia Vera

**Edición N°2
2023**



PALABRAS DEL PRESIDENTE DEL INSTITUTO URUGUAYO DE METEOROLOGÍA

El instituto Uruguayo de Meteorología presentó la segunda edición de las Jornadas Meteorológicas, las que se llevaron a cabo durante los días 26 y 27 de octubre de 2023.

Debido al éxito que se obtuvo de las primeras, hoy podemos decir que las jornadas meteorológicas son una realidad, donde la divulgación científica y técnica de temas meteorológicos se hacen eco para el intercambio de ideas, investigaciones y experiencias en el país y la región, como siempre basados en esos tres ejes temáticos, que son:

- Meteorología y Sociedad.
- Meteorología y Producción.
- Meteorología y Tecnología.

Les invitamos a entrar en esta publicación donde verán lo expuesto en las conferencias realizadas.

Agradezco a los conferencistas y al personal del instituto que de una manera silenciosa da lo mejor de sí para que la JORNAMET sea una realidad.

Cnel. (R) Lic. Pablo Cabrera



PALABRAS DEL DIRECTOR DEL INSTITUTO URUGUAYO DE METEOROLOGÍA

El balance de esta segunda edición de las jornadas meteorológicas, con más de 80 asistentes diarios, es muy positivo. Este éxito nos alienta a soñar en grande. La Jornamet significa mucho para nosotros. Significa un espacio de investigación, de debate, de divulgación, de capacitación, de sinergia, de puesta a punto y actualización en la materia. Es un evento que reafirma nuestro compromiso con el avance y la difusión de la ciencia meteorológica en nuestro país. Queremos que la academia y expertos de todas las áreas vinculadas, nacionales y extranjeros participen.

Inumet sale a la sociedad a mostrar los trabajos de sus técnicos y a su vez recibe de expertos en la materia o materias afines insumos muy importantes. Nos hemos reunido con el propósito de explorar la meteorología desde diversas perspectivas y profundizar en su impacto en la sociedad, la producción y la tecnología. Esta iniciativa responde a la necesidad de crear un espacio donde la comunidad pueda intercambiar conocimientos y fomentar la formación continua. Es así que, durante esta edición, abordamos tres ejes temáticos fundamentales que reflejaron la complejidad y diversidad de la meteorología.

En las distintas ponencias quedó de manifiesto que la meteorología es una ciencia transversal, la afectación y la íntima relación con distintas facetas de la vida cotidiana, de la producción, la economía, del medio ambiente. El evento de sequía recientemente nos demostró que hasta el suministro de agua está relacionada con ella.

La transversalidad queda de manifiesto en las temáticas que se trataron en estas jornadas. Meteorología y salud, análisis de eventos históricos extremos, la sequía que afectó a todo el país, energías renovables, instrumental, generación de energía, agronomía, capa de ozono, variables ambientales. Desde la incidencia del clima en la salud hasta la contribución del monitoreo meteorológico en estudios fenológicos, cada charla y taller presentado enriqueció nuestro entendimiento de esta disciplina crucial.

Es crucial resaltar la importancia de eventos como Jornamet para incentivar el trabajo multidisciplinario. La ciencia no se desarrolla en forma aislada, y este encuentro fortalece los lazos entre la meteorología y otras áreas del conocimiento.

Y no menos importante la meteorología no es una ciencia estática. Continuamente vemos avances. Avances en tecnología y avances en investigación que nos obligan a mantenernos actualizados, a escuchar, a leer, a participar de este tipo de instancias, a capacitarnos. La meteorología se transforma constantemente y nos desafía a seguir sus pasos.

Felicitaciones a los organizadores, a los expositores, a los participantes y a todos los que hicieron posible esta Jornamet, contamos con todos ustedes para que la próxima edición sea aún mejor.

Dr. Diego Plada Polonioli



METEOROLOGÍA Y SOCIEDAD



CLIMA Y SALUD

Palabras clave: Meteoropatía

Vania Méndez¹

Romina Freire¹

v.mendez@inumet.gub.uy

r.freire@inumet.gub.uy

¹Instituto Uruguayo de Meteorología (Inumet)

1- INTRODUCCIÓN

Ya en el siglo V a.C., Hipócrates afirmó en su obra Aires, aguas y lugares, "que los futuros galenos deberían de considerar los efectos de cada estación del año, así como los vientos cálidos y fríos, y especialmente los peculiares de cada región", con esto se comienza a ir definiendo lo que actualmente se conoce como Biometeorología, ya en la década del 50 se crea la primera Sociedad Internacional de Biometeorología.

Que se entiende por esta ciencia, es la ciencia interdisciplinaria que estudia las relaciones entre la biosfera y los procesos atmosféricos.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) establece que el cambio climático es la mayor amenaza para la salud mundial del siglo XXI. La salud es y será afectada por los cambios del clima a través de impactos directos (olas de calor, sequías, tormentas fuertes y aumento del nivel del mar) e impactos indirectos (enfermedades de las vías respiratorias y las transmitidas por vectores, inseguridad alimentaria y del agua, desnutrición y desplazamientos forzados).

En este trabajo nos vamos a centrar en la biometeorología humana y puntualmente en la biometeorología patológica y como el cambio climático puede agravar estas patologías.

2- DATOS Y METODOLOGÍAS

El trabajo se encuentra centrado en la totalidad del Uruguay, en el periodo 2011 – 2020, las fuentes de datos utilizadas fueron las estadísticas vitales del Ministerio de Salud Pública (MSP), fallecimientos por diversas patologías, datos de temperatura máxima y mínima de las estaciones meteorológicas del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) y estudios realizados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

3- DESARROLLO

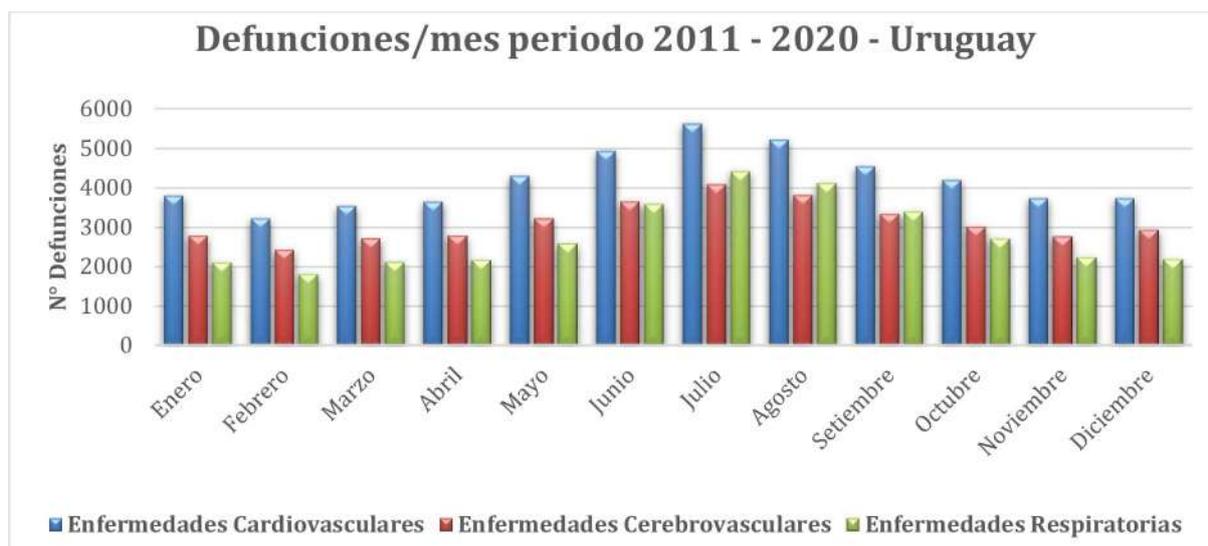
Se denomina meteoropatía a cualquier trastorno psicoorgánico o cualquier enfermedad, con una relación bien demostrada estadística y epidemiológicamente con fenómenos meteorológicos.

Las enfermedades meteorotrópicas son aquellas que se desencadenan o empeoran ante determinadas condiciones meteorológicas, tomaremos en cuenta las enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares y respiratorias.

Las modificaciones termodinámicas del aire son las que se relacionan con las alteraciones orgánicas, mientras que los cambios eléctricos se vinculan principalmente con las modificaciones psíquicas. La presión atmosférica afecta a las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, la temperatura a las enfermedades respiratorias, cardiovasculares, renales y psiquiátricas, la radiación solar a los trastornos afectivos estacionales, dermatológicas y oculares, la humedad a enfermedades dermatológicas y respiratorias y el campo eléctrico atmosférico afecta a enfermedades psiquiátricas, respiratorias e hipertensión.

Tomando las estadísticas vitales del Uruguay analizamos los datos de cantidad de defunciones con diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares y respiratorias que se produjeron en el periodo 2011–2020 y cómo fue su comportamiento anualmente.

De este análisis determinamos que todas las enfermedades mencionadas anteriormente tienen un comportamiento diferenciado según la estacionalidad, se aprecia un aumento de la mortalidad en los meses de invierno (junio, julio y agosto).



Esto se debe a la reacción fisiológica del organismo ante las distintas enfermedades estudiadas:

Enfermedades cardiovasculares el frío es un factor que genera estrés en el cuerpo humano. Para mantener la temperatura corporal, el sistema nervioso simpático aumenta la frecuencia cardíaca, y la circulación en la piel disminuye para evitar la pérdida de calor, contrariamente a lo que ocurre durante la exposición al calor. Los dos extremos de temperatura incrementan la frecuencia cardíaca y favorecen la hemoconcentración y la aparición de placas arterioscleróticas. En consecuencia, aumenta el riesgo de arteriosclerosis coronaria, a su vez los niveles de ciertos reguladores de la presión arterial y del corazón podrían aumentar durante la exposición al frío e inducir mecanismos moleculares que pueden conducir a una lesión e hipertrofia del miocardio y a un disfuncionamiento cardíaco lo que podría conllevar a la muerte (Organización Panamericana de la Salud, 2020).

Enfermedades cerebrovasculares la hipertensión vinculada al frío contribuye a aumentar el riesgo de padecer un accidente cerebrovascular (ACV) hemorrágico. Por otro lado, la vasoconstricción provocada por el frío también favorece la hemoconcentración y la hiperviscosidad sanguínea y, en consecuencia, los ACV isquémicos. Finalmente, una exposición persistente al frío favorece la elevación del colesterol total y, por ende, la aparición de placas arterioescleróticas y el riesgo de sufrir ACV isquémicos, lo que en algunos casos puede provocar la muerte (Organización Panamericana de la Salud, 2020).

Enfermedades respiratorias la inspiración de aire frío y seco, especialmente durante una actividad física, puede activar una serie de mecanismos que favorecen los episodios de asma, contracción de los músculos lisos responsables de la broncoconstricción, afluencia importante de sangre, liberación de mediadores de la histamina y vasoconstricción pulmonar. La exposición al frío contribuye a reducir los mecanismos de respuesta de las vías respiratorias superiores, a menoscabar la resistencia del sistema inmunitario frente a las infecciones respiratorias y a acelerar la propagación de la influenza. Por otro lado, la pérdida imperceptible de agua relacionada con la exposición prolongada al frío reseca las mucosas, lo que favorece las infecciones respiratorias graves (Organización Panamericana de la Salud, 2020).

Hay que tener en cuenta que el impacto en la salud depende de la intensidad o duración del fenómeno meteorológico, así como de la asociación con otras variables como, la humedad que acompaña frecuentemente las olas de calor o la contaminación del aire que acompaña las sequías. No todas las personas sufren las mismas consecuencias sobre su salud ante un mismo riesgo meteorológico, son varios los factores que desencadenan el impacto final.

Algunas personas estarán más o menos expuestas según otros tipos de indicadores como la demografía, la zona donde residen (inundaciones), el nivel socioeconómico (ambientes climatizados), acceso a agua potable, condiciones laborales (trabajo a la intemperie), etc. Siempre hay que tener en cuenta el estado inicial de la salud del paciente, ya que su reacción va a depender de si es más o menos sensible, según sufran enfermedades crónicas o esté en buena condición física.

4- CONCLUSIONES

Es un hecho que la comunidad científica ha llegado a un consenso en torno a la existencia de una alteración climática global, según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) "Lo más

probable es que el mundo alcance un calentamiento global de 1.5°C en el período 2021–2040 (ya alcanzamos 1.1°C en la última década). Pero a menos que haya reducciones rápidas, fuertes y sostenidas en las emisiones de gases de efecto invernadero, será imposible limitar el calentamiento a 1.5°C o incluso a 2°C" (IPCC, 2021).

La relación entre la salud de la población y el cambio climático no es puntualmente que suba la temperatura, sino con la rapidez que esto ocurre provocando que la población mundial no se aclimate a estos nuevos valores, lo que conllevaría a un aumento de la morbilidad y mortalidad en la población sobre todo en las más sensibles. (OMS,2021).

Se debería comenzar a analizar estas cuestiones de una forma integral e interdisciplinaria, teniendo en cuenta cómo reacciona el cuerpo humano, en determinadas zonas y con determinadas temperaturas, ya que la temperatura de disparo, que es la temperatura donde comienza a manifestarse una reacción en el cuerpo, depende de muchos factores y no siempre es similar a lo que definimos como ola de calor o de frío sino, que puede comenzar a reaccionar con una temperatura menor a la que iniciaría por definición una ola.

Por esto es que se debe de comenzar a pensar en sistemas de alertas tempranas teniendo en cuenta los impactos, ya que los efectos en el cuerpo de los extremos de temperatura afectan no solo en los días que cubre la alerta meteorológica, sino que a nivel de la salud los efectos se propagan por varios días más.

REFERENCIAS

- Organización Panamericana de la Salud <https://www.paho.org/es/temas/cambio-climatico-salud>.
- Organización Panamericana de la Salud (2020): Cambio climático para profesionales de la salud. Washington DC. IPCC, 2021: Cambio Climático https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGI_SummaryForAll_Spanish.pdf
- Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

TORNADO EN DOLORES, SORIANO, EL 15 DE ABRIL DE 2016.

Palabras clave: Climatología, meteorología sinóptica

Fernando Torena¹

Cesar Vecino²

ftorena@fau.mil.uy

cvecino@fau.mil.uy

^{1y2} Servicio Meteorológico de la Fuerza Aérea Uruguaya

1- RESUMEN

Entre las 1910Z y 1917Z del día 15 de abril un tornado con velocidades estimadas del viento superiores a los 250km/h ingresa a la ciudad de Dolores, Soriano. Su primer contacto registrado fue a los fondos de la Cooperativa Agraria Dolores (C.A.DOL) próximo al río San Salvador. El mismo tuvo un desplazamiento sobre la zona céntrica afectando un millar de estructuras y dejando 5 fallecidos (Diario Online Salto Noticias-2023) De acuerdo al trabajo de campo y utilizando la escala modificada de Fujita (EF) se llegaría a la conclusión que el tornado pudo tener una categoría EF4.

2- INTRODUCCIÓN

En nuestro país no existe una climatología de eventos meteorológicos extremos o severos, relacionados a tornados específicamente. Según los registros con lo que maneja el equipo de trabajo, este evento sería el segundo en potencia y daños de la historia climatológica de nuestro país (recordemos que el primero fue: 21 de abril de 1970 en Fray Marcos, departamento de Florida, bajo la categoría F4).

3- METODOLOGÍA

Se puede determinar la ocurrencia de un tornado analizando los daños provocados por el fenómeno, como también su intensidad y desplazamiento (Fujita y Pearson 1971).

- Para este trabajo se utilizaron estimaciones de la intensidad del viento, determinada por los daños constatados, mediante la utilización de la escala modificada de Fujita (Wind Science and Engineering Center, 2006)
- Información de primera mano de testigos oculares o la referida en documentos periodísticos.
- Análisis de las cartas del tiempo a escala sinóptica. A pesar de que la escala del tornado se encuentre en la microescala, es de fundamental importancia analizar y comprender las condiciones sinópticas que desencadenan este tipo de fenómeno (Brooks y otros, 1994). En este sentido, se analizará sinópticamente las cartas de superficie, 850 hPa, 500 hPa, 300 hPa y emagrama.
- Análisis de radiosondeos de Ezeiza, obteniéndose de ellos los parámetros representativos de la masa de aire que generó la supercélula (en la cual se generó el tornado), índices de inestabilidad y hodógrafa.
- Imágenes satelitales del Goes 13 e imágenes del radar de Ezeiza, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina

4-RESULTADOS

Síntesis meteorológica sinóptica de los tres días previos al evento extremo

Se evidencia un bloqueo importante en niveles bajos de la atmosfera (850 hPa), con un núcleo húmedo sobre el territorio y vientos prevaletentes del sector norte/noroeste. Aunque tanto en niveles medios (500 hPa) como en niveles altos (300 hPa), las situaciones atmosféricas fueron cambiantes, con pasaje de vaguada y corriente en chorro, el nivel bajo continuó con un alto contenido de humedad que fue acumulándose.

Situación meteorológica el día del evento: 15 de abril de 2016.

Se comienza a evidenciar en los datos de las estaciones meteorológicas de la 1200Z ubicadas sobre el litoral suroeste del país, una frontera térmica/ hídrica entre los departamentos de Río Negro y Colonia.

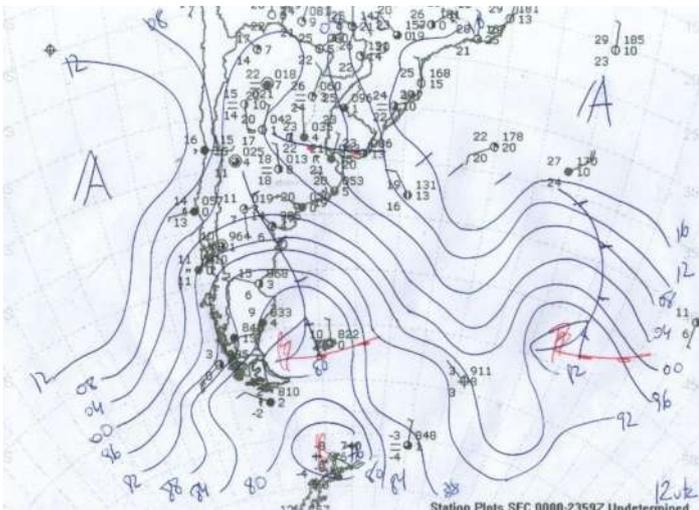
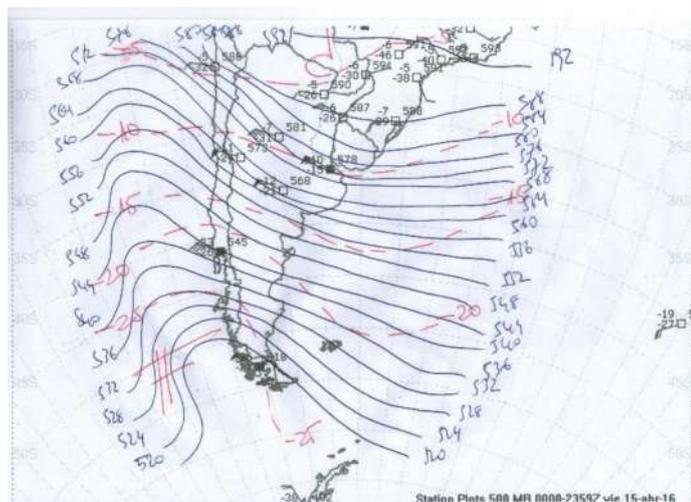


Figura I: carta sinóptica de superficie- hora 12Z (fuente: personal)

Este tipo de situaciones se produce ante la presencia de frentes estacionarios. La formación de tormentas se sitúa en este mismo lugar, sobre el frente, actuando como el mecanismo disparador de la convección localizada. Como se ha destacado anteriormente, la termodinámica también está presente con la advección de aire cálido y húmedo desde el Amazonas (Marengo y otros, 2001). La situación se mantiene, incrementándose la diferencia de temperatura entre las estaciones meteorológicas de Mercedes (dpto de Soriano) con 29.4 °C a la hora 1800Z y de Colonia de Sacramento (dpto de Colonia) con 20°C. La temperatura del punto de rocío oscila entre 19°C sobre Colonia y casi 25 °C sobre Mercedes.



En la carta de 500hPa (Figura II) se evidencia una zona delantera de vaguada, donde predominan los movimientos de ascenso, si bien su eje, se encuentra sobre el océano Pacífico. También se destaca la presencia del reflejo de la corriente en chorro (niveles superiores de la atmósfera) con una componente NW y una intensidad de 65 kts. La temperatura se encuentra en -10°C.

Figura II (fuente personal).

4- CONCLUSIONES

Mediante el estudio de campo se pudo determinar la categoría EF4 como la máxima evidenciada por los daños en estructuras, árboles, columnas, etc, Inició su destrucción muy cerca de la Cooperativa Agraria Dolores (C.A.DOL) irrumpiendo en sus estructuras con velocidades entre 250/290km/h.

Desplazándose hacia la ciudad de Dolores en dirección NW-SE, atravesándola diagonalmente. Al ingresar por la Av. Gral. Fructuoso Rivera, demolió viviendas construidas en material con desplazamiento de planchadas, dirigiendo su trayectoria destructiva hacia el centro de la ciudad.

En solo 4 minutos y 33 segundos y con una velocidad de desplazamiento de 36 km/h llegaría a la plaza Constitución (zona céntrica), en este lugar se evidenciarían velocidades compatibles con la categoría EF4. Se destaca que el área afectada no es homogénea, pudiendo evidenciar daños en la escala EF0 hasta la escala máxima relevada de EF4. El área de rotación tendría un diámetro entre 180/200 Mts en su primer contacto, pero al llegar al centro de la ciudad, duplico su diámetro. A continuación se explica básicamente la estructura del tornado utilizando un esquema.

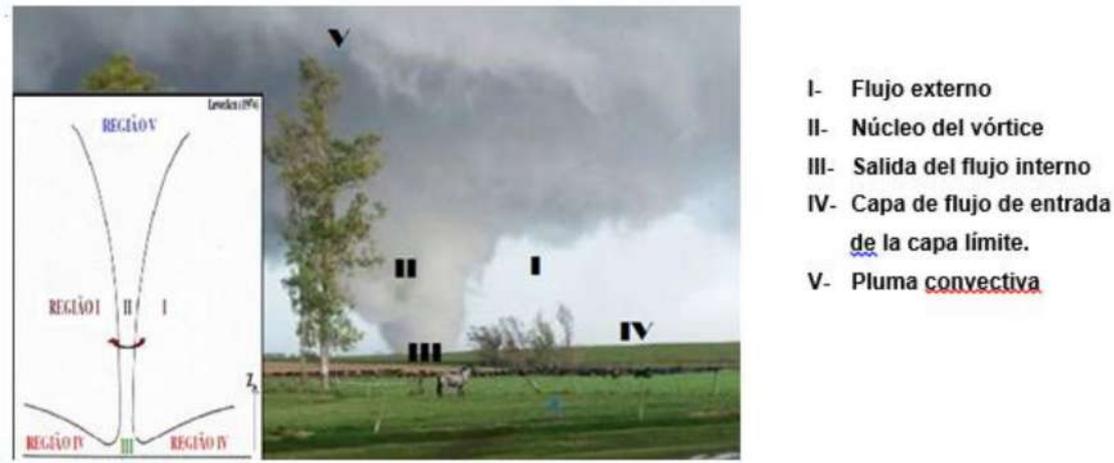


Figura III: Representación esquemática y foto del tornado en Dolores captada por un testigo.

El sentido de la rotación de los vientos es horario.

El saldo de destrucción en infraestructura habitacional es de unas 1000 casas (los datos del SINAIE dicen 1.800 casas), y cerca del 10% de ellas totalmente destruidas; además de vehículos, alrededor de 150 comercios, edificios públicos, distribución de energía y medios de comunicación, etc.

REFERENCIA

- Brooks, H. E., C. A. Doswell III, R. B. Wilhelmson, 1994: On the role of mid-tropospheric winds in the evolution and maintenance of low-level mesocyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 126- 136.
- Fujita, T. T.; Pearson, A. D. Results of FPP classification of 1971 and 1972 tornadoes. In: *Conf. on Severe Local Storms*, 8., 1973, Denver: Preprints... Boston: American Meteorological Society, 1973. p. 142–145.
- Marengo, J. Douglas, M. and P. Dias, 2001 Towards an identification of the South American low-level jet east of the Andes during the LBA-TRMM and LBA-WET AMC campaign of the summer of 1999. Submitted to *J. Geophys Research*.
- Salto Noticias- 03/10/23- <http://saltonoticias.com.uy/noticias/7-anos-del-tornado-f4-de-dolores-15-04-2016/>
- Wind Science and Engineering Center- Texas Tech University, Lubbock, Texas 79409-1023: A recommendation for a Enhanced Fujita Scale (EF-Scale), October 10, 2006 Revisión 2

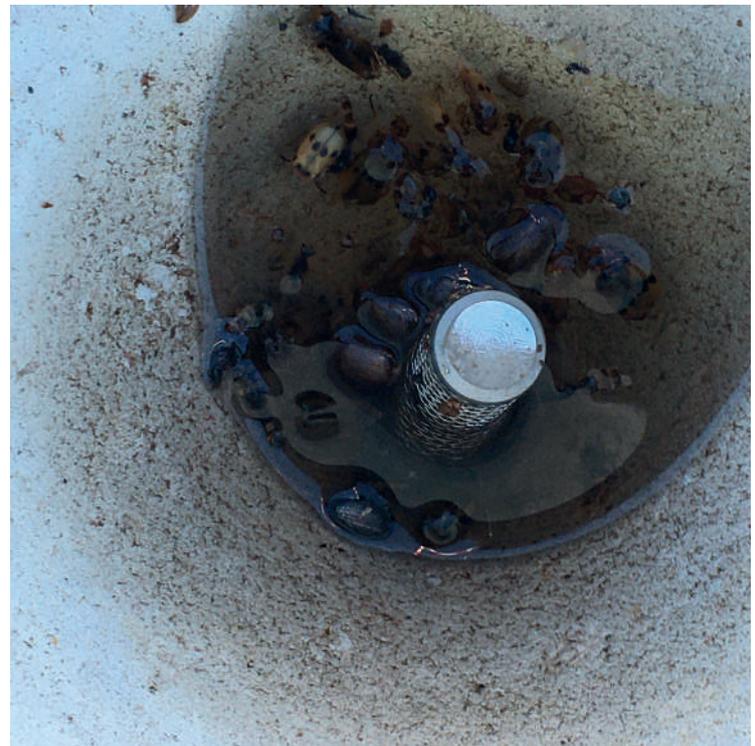
Tecnología Acústica: Avances en la Medición de Precipitación

La medición de la precipitación es un componente fundamental en la ciencia meteorológica, ya que contribuye a la comprensión de los patrones climáticos y a la predicción de eventos meteorológicos. Sin embargo, medir con precisión la precipitación en lugares remotos o de difícil acceso ha sido un desafío constante debido a la falta de infraestructura y la inaccesibilidad de las estaciones meteorológicas convencionales. En este artículo, exploraremos cómo la tecnología acústica ha revolucionado la medición de la precipitación, superando las limitaciones tradicionales y brindando ventajas significativas en la recolección de datos meteorológicos precisos en condiciones desafiantes.

Medición de la Precipitación y sus Desafíos

La medición de la precipitación es esencial para comprender los patrones climáticos y pronosticar eventos meteorológicos. Los pluviómetros convencionales, como el pluviómetro basado en el de vasos basculantes, ha sido durante mucho tiempo el instrumento estándar para medir la precipitación. Sin embargo, esta tecnología tiene limitaciones significativas en áreas remotas o de difícil acceso.

Los desafíos más destacados al medir la precipitación en lugares remotos incluyen la falta de mantenimiento regular, la acumulación de hielo o nieve en el instrumento y la dificultad de acceso a las ubicaciones de las estaciones meteorológicas, lo que dificulta la calibración y el mantenimiento periódico. Además, la medición de la precipitación en forma de nieve o lluvia con viento puede resultar en errores significativos debido a la dispersión del agua o la subestimación de la cantidad real de precipitación.



Tecnología Acústica: Una Solución Innovadora

La tecnología acústica se ha convertido en una solución innovadora para abordar los desafíos antes mencionados en la medición de la precipitación. Esta tecnología se basa en el principio de que el sonido se propaga de manera diferente en medios sólidos, líquidos y gaseosos. Los pluviómetros acústicos utilizan esta diferencia en la velocidad del sonido para determinar con precisión la cantidad de precipitación.

Cuando las gotas de lluvia o la nieve caen sobre el sensor acústico, generan ondas de sonido que son detectadas y analizadas. La velocidad y la intensidad del sonido varían en función de la cantidad y el tipo de precipitación. Esta información se convierte en datos cuantitativos sobre la precipitación, eliminando la necesidad de dispositivos mecánicos que puedan congelarse o requerir mantenimiento constante.



Beneficios de la Tecnología Acústica en la Medición de Precipitación

La tecnología acústica ofrece una serie de beneficios en la medición de la precipitación:

1. **Precisión:** Los pluviómetros acústicos proporcionan mediciones precisas, incluso en condiciones climáticas adversas y en áreas remotas.
2. **Mantenimiento Reducido:** Estos dispositivos no requieren un mantenimiento mínimo gracias a su diseño robusto y la falta de partes mecánicas móviles.
3. **Medición de Varios Tipos de Precipitación:** Los pluviómetros acústicos pueden medir con precisión la lluvia y la nieve, así como determinar la intensidad de la precipitación.

Pluviómetro Acústico Vaisala WX531

Entre los pluviómetros acústicos disponibles en el mercado, el Vaisala WX531 es una opción destacada. Este dispositivo combina la tecnología acústica de vanguardia con la reputación de calidad de Vaisala en el campo de la instrumentación meteorológica. El WX531 ofrece una alta precisión en la medición de la precipitación, es resistente a las inclemencias del tiempo y permite la transmisión de datos en tiempo real a través de diversas interfaces de comunicación.

En conclusión, la tecnología acústica ha demostrado ser una solución innovadora para superar los desafíos en la medición de la precipitación en lugares remotos o de difícil acceso. La precisión, el bajo mantenimiento y la capacidad de medir varios tipos de precipitación hacen que los pluviómetros acústicos sean una elección sólida para los profesionales de la meteorología. El pluviómetro acústico Vaisala WX531 destaca como una opción confiable para la recolección de datos meteorológicos precisos en una amplia gama de entornos.



METEOROLOGÍA Y PRODUCCIÓN



SEQUÍA 2020-2023 EN URUGUAY

Palabras clave: Sequía, precipitación, indicadores.

Claudia Martínez¹

Néstor Santayana¹

Mario Bidegain¹

bidegain.mario@gmail.com

¹Instituto Uruguayo de Meteorología (Inumet)

1- RESUMEN

Se analizaron el Índice de precipitación estandarizado (IPE) y el Índice de precipitación y evaporación estandarizado (SPEI), para 2020-2023, de manera de dimensionar la sequía meteorológica sobre Uruguay y la conveniencia de utilización de cada uno de los índices. La sequía 2020-2023 ha sido la más intensa desde hace 74 años al menos.

2- INTRODUCCIÓN

EL término "sequía" puede ser interpretado según el punto de vista del afectado por este fenómeno. En este trabajo nos basaremos en la definición de sequía pluviométrica o meteorológica, estableciendo las anomalías de precipitación entre enero 2020 hasta agosto 2023). Siguiendo las definiciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) las sequías pueden clasificarse en meteorológicas, agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas. De acuerdo a la OMM, la sequía es "un período de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico" (OMM, 1992).

La precipitación acumulada anual en Uruguay presenta una gran variabilidad, los acumulados promedios país rondan los 1335 mm, existen años extremadamente secos, como 1989 con 850 mm, mientras que 2002 con 1995 mm fue un año excepcionalmente húmedo. Los últimos 3 años han sido extremadamente secos, con 2020 (1047 mm en promedio nacional), 2021 (1174 mm) y 2022 (968 mm).

3- EVOLUCIÓN DE LA SEQUÍA 2020 - 2023 SEGÚN INDICADORES

Existen varios índices o indicadores para identificar la sequía meteorológica entre ellos:

Índice de precipitación estandarizado (IPE), el Índice de precipitación y evaporación estandarizado (SPEI), Deciles de precipitación, Porcentaje de precipitación normal (PPN) y escalas de índices de Sequía.

Las categorías para el IPE son -2 menor sequía extrema, -1,5 a -1,99 sequía severa, -1 a -1,49 sequía moderada, -0,5 a -0,99 ligeramente seco, de 0,49 a -0,49 normal, de 0,5 a 0,99 ligeramente húmedo, de 1 a 1,49 moderadamente húmedo, de 1,5 a 1,99 muy húmedo y 2 o mayor extremadamente húmedo. El análisis del IPE12 anual (enero-diciembre) indica (ver figura 1) que el año 2020 fue muy seco (sequía severa) en casi todo el País, mientras que 2021 fue ligeramente seco y afectó el litoral oeste y centro. El año 2022 fue también seco con sequía severa en el sur y suroeste del País, durante los primeros 6 meses de 2023 la sequía continuó agravándose en especial sobre el sur del País.

Las categorías para el SPEI son las mismas que para el IPE. El Índice de precipitación y evaporación estandarizado (SPEI), incorpora el comportamiento de la evaporación, siendo un indicador más adecuado, para climas tropicales o para la estación más cálida del año.

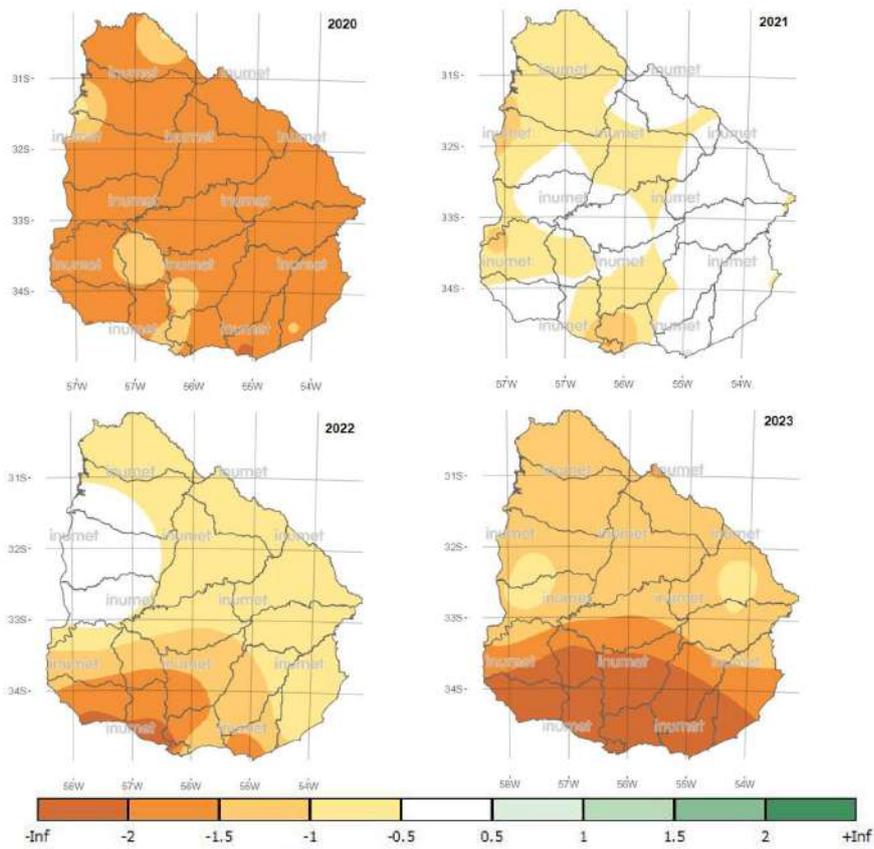


Figura 1. Índice estandarizado de precipitación IPE12 para 2020-2023

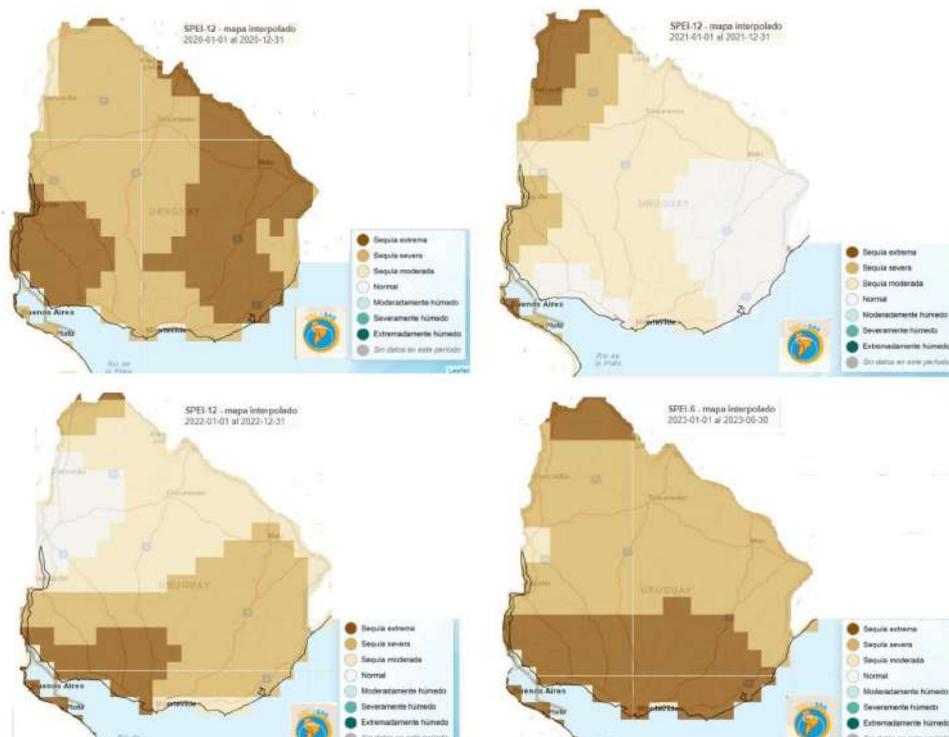


Figura 2. Índice de precipitación y evaporación SPEI12 para 2020-2023

El SPEI12 anual sobre Uruguay, desde 2020 a 2023 (figura 2) muestra un comportamiento similar al IPE12, siendo 2020 y 2023 los más secos. No obstante, se observan diferencias al norte del País (Artigas), para 2021 y 2023 con sequía extrema para SPEI mientras el SPI indica ligeramente seco (2021) y sequía moderada (2023) respectivamente.

4- CONCLUSIONES

En lo referente a la periodicidad de los eventos con déficit pluviométrico de magnitud similar al registrado para 2020-2023, se puede decir que son verdaderamente excepcionales dentro del período analizado. A pesar de ello, existen indicios de que se presentan períodos de déficit pluviométrico importantes cada 10 años aproximadamente y lo que es muy importante están agrupados en general de a 2 años consecutivos (Tiscornia 1945).

Analizando estadísticas más extensas de precipitación, observamos que los eventos secos de los años 1916-1917, 1933, 1942-43, 1964, 1988-89 y 2008-2009 son comparables (aunque más cortos), al que padecemos en el periodo 2020-2023.

Los estudios de variabilidad climática, indican que la teleconexión entre el fenómeno ENOS ("El Niño-Oscilación Sur") y la precipitación regional, produce meses anormalmente secos entre octubre y marzo, cuando existe una situación de fase fría del fenómeno de El Niño (Ropelewski y Halpert, 1989). Sin embargo, no se puede concluir que los episodios de déficit pluviométrico están explicados solamente por el fenómeno ENOS, son necesarios estudios más exhaustivos de los efectos de la variabilidad y cambio climático sobre el país y la región.

Haciendo un estudio para la Estación Meteorológica de Prado (Montevideo), en el periodo 1947-2022, con acumulados trianuales y ordenando la serie de mayor a menor, se observa que 2020-2021-2022 con un acumulado de 2450 mm, resulta ser la más baja de la serie de 74 valores. Por lo tanto, el período de retorno (empírico) de un evento similar en dicha estación, es de al menos de 74 años (Inumet, 2023). Las regiones más afectadas fueron el centro, sur y suroeste del país. La zona centro de nuestro país parece ser la que posee mayor variabilidad en la precipitación de un año para el otro. La zona norte, que tiene una mayor correlación de las precipitaciones con el ENSO, sufre con más intensidad la sequía en los meses de verano, pero en el periodo 2020-2023 el mayor impacto de la sequía ha sido en el sur del País.

REFERENCIAS

- Inumet. 2023. Informe Sequia meteorológica 202-2023 actualización. <https://www.inumet.gub.uy/sala-de-prensa/noticias/informe-sequia-meteorologica-2020-2023-actualizacion>
- Morandi L. 1943. Las Sequías en el Uruguay. Revista Meteorológica. Año II. N°8.
- Organización Meteorológica Mundial. 1992. La Conferencia Mundial sobre el Clima. En
- Boletín de la OMM, XXVIII. N° 3. Ginebra. Suiza.
- Ropelewsky C. y M.S. Halpert. 1989. Precipitation Patterns associated with the High index phase of the Southern Oscillation. J. of Climate. Vol.2.
- Tiscornia J.T. 1945. Sobre las sequías en el Uruguay. Revista Meteorológica. Año IV. N°16. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., & López-Moreno, J.I. 2010a. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Journal of Climate, 23, 1696-1718.

CONTRIBUCIÓN DEL MONITOREO METEOROLÓGICO AL ESTUDIO FENOLÓGICO DE MAÍZ CRIOLLO EN LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA, URUGUAY

Palabras clave: Grados días, Monitoreo térmico, Fenología

Carolina Munka¹,
Sebastián Silveira¹,
Victoria García da Rosa²,
Emiliano Rodríguez²;
Felipe Andrade Tardetti²;
Ian Tadich²;
María de los Ángeles Bonfiglio²,
Magdalena Vaio²,
Rafaela Vidal².

munka@fagro.edu.uy

¹Departamento de Sistemas Ambientales, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. (UDELAR)

²Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. (UDELAR)

1- INTRODUCCIÓN

La temperatura del aire, las horas luz y el agua son los principales recursos biofísicos relacionados al desarrollo y rendimiento de las plantas. En particular la temperatura del aire es un elemento meteorológico de gran importancia y determinante del desarrollo vegetal. La misma es una variable de carácter continuo y periódico que posibilita el proceso y sucesión de las fases fenológicas de la planta y por ende del desarrollo completo del ciclo del vegetal. (Rosenberg et al., 1983).

El desarrollo y crecimiento vegetal responde a rangos mínimos, óptimos y máximos de la temperatura del aire, estos umbrales son denominados temperaturas cardinales. El desarrollo de la planta se detiene cuando el ambiente está por debajo del valor mínimo o supera el valor máximo cardinal y la mayor expresión de su desarrollo corresponde al rango óptimo de temperatura cardinal. La temperatura del aire por lo tanto genera una acumulación de calor (suma térmica) que es específica para cada ciclo del cultivo y se la denomina constante térmica, es igual para cualquier ubicación, año y época de siembra. El tiempo térmico resulta la expresión más ajustada al desarrollo vegetal ya que los días calendario necesario para cubrir estos requerimientos térmicos puede variar entre sitios dada la oferta térmica en cada lugar. Se han desarrollado diferentes metodologías para cuantificar la acumulación de calor, entre ellas el Método Residual es reportado como el más utilizado para un gran rango de especies y requerimientos térmicos en diferentes regiones. El método residual cuantifica la suma del residuo térmico efectivo que se establece entre la temperatura media diaria del aire y la temperatura base o mínima de desarrollo de la especie vegetal, también conocido como método de suma térmica efectiva (unidades térmicas o grados días) (Castillo y Castellví, 1996).

El monitoreo del ambiente meteorológico y en particular de la temperatura del aire es de suma importancia para el desarrollo vegetal y tiene múltiples alcances a diferentes escalas espacio- temporales. Una climatología del ambiente térmico que proporcione información promedio desde estaciones meteorológicas de referencia nacionales es de suma importancia por ejemplo para caracterizar este recurso a escala regional y que permita entre otros usos la selección y regionalización de cultivos. A la vez el monitoreo del ambiente meteorológico a escala espacio temporal más reducida es requerido para situaciones productivas agronómicas con particularidades en el sitio y en el ambiente microclimático (OMM, 2017). Este trabajo tuvo como objetivo general contribuir mediante el monitoreo de la temperatura del aire al estudio fenológico de variedades criollas de maíz.

2- METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló en el marco del proyecto: "Determinación de la susceptibilidad diferencial a infección por *Fusarium* de variedades criollas de maíz plantadas en diferentes zonas productivas de Uruguay". Las parcelas de evaluación se instalaron en el predio de Facultad de Agronomía, Universidad de la República (sede Sayago, Montevideo, Uruguay) en donde se sembraron 23 variedades criollas de Maíz de los departamentos de Canelones, Colonia, Rocha, Salto, Tacuarembó y Rivera y el cultivar Blanco Cangüé como testigo. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, la siembra (manual) se realizó el 1 de noviembre de 2022 con 30 semillas por parcela (10 plantas /m²) en un área de 156m², en surcos distanciados a 0,75m y suministro de riego diario con un total en el período de 473mm. Se realizaron observaciones fenológicas en el período 1/11/2022 al 8/2/2023 en forma semanal y en este trabajo se evaluaron las variables: fecha de emergencia al 50%, etapa fenológica según escala de Ritchie y otros (1986) desde etapa Vegetativa hasta fase Reproductiva y fecha de floración masculina y femenina. Estas variables fueron analizadas en relación a la acumulación térmica de grados días (GD) cuantificados en el período. El monitoreo térmico se realizó, durante todo el período del experimento, mediante el registro de temperatura del aire en cuatro sensores electrónicos Hobo-Pendant con frecuencia de medida cada 15' instalados en abrigos meteorológicos y en un perfil vertical a 5cm, 30cm, 60cm y 120cm, de forma de evaluar el ambiente junto con el desarrollo vegetal a lo largo del ciclo del cultivo. Los grados días efectivos fueron calculados mediante el método residual (Castillo y Castellví, 1996) considerando una temperatura base mínima de desarrollo de 8°C (Fassio y otros, 1998). La acumulación térmica se realizó utilizando los valores de temperatura del aire de cada sensor en cuatro períodos definidos según el desarrollo vegetal observado. Los datos del sensor a 5cm se utilizaron en el 1er período, definido desde la siembra hasta 11/11 (fecha de 50% emergencia), para el 2° período que comprendió del 12/11 al 23/11 (durante las etapas vegetativas V1 a V3) se utilizaron los datos del sensor a 30cm, mientras que para el 3er período comprendido entre el 24/11 al 5/1/2023 (durante etapas vegetativas V4 a V10) se consideraron los datos del sensor a 60cm y para el 4to período, entre el 6/1 al 8/2/2023 (durante la etapa reproductiva), se utilizó la información del sensor a 120cm. Los resultados fueron analizados cualitativamente y en términos estadísticos descriptivos.

3- RESULTADOS

La descripción del perfil vertical de temperatura del aire da cuenta de valores típicos de procesos de calentamiento (perfil superadiabático) y enfriamiento del aire (perfil de inversión térmica). En el período evaluado, en promedio, y durante las condiciones de enfriamiento del aire (período nocturno) la temperatura a 5cm sobre el suelo fue $1,1 \pm 0,03$ °C y $0,9 \pm 0,89$ °C más fría respecto a la temperatura a 30cm y 60cm respectivamente. Mientras que en misma situación, la temperatura a 30cm de altura fue $0,3 \pm 0,28$ °C inferior respecto al registro a 60cm de altura. En las condiciones de calentamiento (período diurno) los valores térmicos (promedios del período) del sensor a 5cm fue $0,4 \pm 0,36$ °C y $0,5 \pm 0,43$ °C superiores respecto a los observados a 30cm y 60cm respectivamente, a la vez que la temperatura observada (promedio del período) a 30cm fue $0,8 \pm 0,76$ °C superior respecto a lo registrado a 60cm. Las sumas térmicas obtenidas en el ambiente sobre la superficie del suelo resultaron diferentes en un total de 1656GD, 1748GD y 1712GD para las alturas de 5cm, 30cm y 60cm respectivamente. Esto permite inferir la importancia del registro térmico dinámico en el perfil de altura a medida que evoluciona el desarrollo vegetal.

En la Tabla 1, se presentan los resultados de la acumulación térmica parcial en los cuatro períodos definidos, el total acumulado en el ciclo fue de 1737GD o unidades térmicas.

Tabla 1. Grados días acumulados (GD) en los cuatro períodos definidos y en base a la temperatura del aire registrada a diferentes alturas a 5cm (GD_5cm), 30cm (GD_30cm), 60cm (GD_60cm), 120cm (GD_120cm) y del total del ciclo vegetal, durante el período 1/11/2022 al 8/2/2023 en el sitio experimental, Facultad de Agronomía, sede Sayago, Montevideo, Uruguay.

GD_5cm (1/11/2022 al 11/11/2022)	GD_30cm (12/11/2022 al 23/11/2022)	GD_60cm (24/11/2022 al 5/1/2023)	GD_120cm (6/1/2023 al 8/2/2023)	Total acumulado del ciclo
117	199	726	695	1737

Los descriptores fenológicos indican que la fecha en la cual se observó el 50% o más de emergencia fue el 11/11/2022 y la altura promedio al final del ciclo de las plantas fue de 157cm. En promedio de todas las variedades la fecha de aparición de floración masculina (al menos 50% de plantas identificadas con panojas anthesis) fue el 24/1/2023 y de flor femenina (al menos 50% plantas identificadas con estigmas) el 30/1/2023, con una acumulación térmica de 1429 GD y 1559 GD respectivamente. El rango de fechas de floración masculina entre las variedades fue desde el 10/1 (variedad SS8A) al 1°/2 (variedades XB3B; CaRV02) y entre el 26/1 (variedades SR1A; SS8A; ES1A; SS4A; CARV03; MoRV01) y el 5/2 (variedad XB3B) para la aparición de flor femenina. La suma térmica para las variedades en que se observaron más

temprana y más tardíamente la aparición de flor masculina fue de 1136 GD y 1602 GD al 10/1 y al 1°/2 respectivamente. Mientras que para la aparición de flor femenina la acumulación térmica a la fecha más temprana (26/1) fue 1475 GD y para la más tardía (5/2) fue de 1672 GD.

4- CONCLUSIONES

El monitoreo térmico a diferentes alturas sobre el suelo contribuyó a la caracterización de los grados días acumulados a lo largo del ciclo vegetal y en diferentes etapas fenológicas de variedades criollas de maíz en el período evaluado.

La aparición de la floración masculina y femenina de las plantas se alcanzó en promedio con un 82,2% y 89,7% del total del tiempo térmico del ciclo de las plantas.

Se infiere que el monitoreo in situ permitirá describir el proceso de desarrollo y crecimiento vegetal y aportará conocimiento al manejo y la toma de decisiones en la planificación de la actividad agronómica y durante el ciclo biológico del cultivo, entre otros.

Futuros trabajos continuarán la sistematización, en sucesivos años, de los requerimientos térmicos para variedades de criollas de maíz y la calendarización térmica de los mismos.

REFERENCIA

- Castillo, E., y Castellví, F., 1996. Agrometeorología. Ediciones Mundi-Prensa. España. 517p.
- Fassio, A., Carriquiry, A. I., Tojo, C. y Romero, R., 1998. Maíz: Aspectos sobre fenología. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, INIA, Serie Técnica N°101. Montevideo, Uruguay. 51p.
- OMM Organización Meteorológica Mundial., 2017. Guía del Sistema Mundial de Observación. Organización Meteorológica Mundial, Serie Tiempo-Clima-Agua, OMM-N°488. Geneve, Suiza. 235p.
- Ritchie, S. y Hanway, J., Benson, G., 1986. How a Corn Plant Develops. Special Report No. 48, Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service. USA. 21p.
- Rosenberg, N., Blad, B. y Verma, S., 1983. Microclimate: The biological environment. Wiley-Interscience; 2nd edition (September 22, 1983) New York, USA. 495 p.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE FLUJO DE SAVIA EN EUCALIPTUS Y SU RELACIÓN CON EL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR.

Palabras clave:

Flujo de savia, Transpiración, Eucaliptus.

Álvaro Montaña¹

Carolina Munka¹

José Gándara¹

alvumont@gmail.com

¹Facultad de Agronomía. Universidad de la República

1- INTRODUCCIÓN

La alta variabilidad del régimen de precipitaciones del Uruguay, sumada a la amplia gama de suelos sobre los cuales se desarrolla la producción agropecuaria, produce con frecuencia condiciones de superávit o restricción hídrica por períodos más o menos prolongados. La disponibilidad de agua es factor limitante del rendimiento en diferentes ambientes, lo que hace necesario en algunos casos, la aplicación de riegos suplementarios que afecta los costos de producción. Por tanto toman relevancia los estudios que aporten a explicar la variabilidad del régimen de precipitaciones, el comportamiento de las reservas hídricas del suelo y la eficiencia en el uso del agua por parte de los cultivos. Muchas cuencas hidrológicas que actúan como captadoras y reguladoras del agua disponible están pobladas por masas arboladas de esta especie. En los últimos 30 años la superficie con cultivos forestales aumentó de 565.793 a 1.087.109 hectáreas (Sociedad de Productores Forestales del Uruguay, 2021) y ha despertado interés el conocer el impacto de ese aumento sobre los recursos hídricos. Las determinaciones de parámetros hídricos basadas en variables meteorológicas o propias del suelo como alternativa a los experimentos intensivos, no permiten la discriminación del agua utilizada por el cultivo o la pastura de la entrefila y, en general, requieren de la evaluación de grandes áreas para obtener una estimación aceptable. Las medidas de intercambio gaseoso (anhídrido carbónico y vapor de agua) pueden realizarse sobre hojas individuales con el subsecuente problema de aumento de escala a nivel de planta entera (Montaña, 2013); o bien utilizando sistemas de cámaras para envolver completamente a la canopia, lo cual acaba por alterar en alto grado a la temperatura, la llegada de luz y el espesor de la capa límite sobre las hojas (Cifre et al. 2005).

A nivel nacional, se utiliza la técnica del Potencial Hídrico Foliar de base, que permite conocer de manera bastante exacta el estado de hidratación de los individuos pero no aporta datos concretos sobre el volumen de agua consumido por las plantas.

Recientemente, las determinaciones del flujo de savia han ganado popularidad ya que ofrecen la posibilidad de obtener medidas continuas del flujo de agua a través de la planta funcionando en su ambiente natural. Concretamente Granier (1985), presenta un método económico y efectivo para conocer con precisión el caudal de savia que asciende por los tallos de las especies leñosas.

Los objetivos de este trabajo fueron en primer lugar desarrollar habilidades en la construcción del sistema de sensores Granier adaptados a la anatomía del tronco de los *Eucaliptus*, y en segundo lugar determinar la relación existente entre estimaciones de la densidad de flujo de savia con el déficit de presión de vapor (DPV).

2 - MATERIALES Y METODOS

Los componentes eléctricos del conjunto de sensores de flujo de savia tipo Granier Thermal Dissipation Probe (TDP) (Granier, 1985), fueron construidos y ensamblados en el Laboratorio del Dpto. de Sistemas Ambientales (Agrometeorología), Facultad de Agronomía y su instalación se realizó en el monte de Eucaliptus "Don Tomás", Montes del Plata, Paysandú. Las mediciones se realizaron a partir del mes de octubre de 2019 en 12 árboles seleccionados por su porte (codominantes) y de buen aspecto sanitario general de una parcela circular de 314 m².

Se programó un datalogger Campbell Scientific modelo CR10X para detectar las microvariaciones de voltaje provenientes de las sondas. Cada sensor esta compuesto por dos sondas insertadas en el leño conductor: la superior, calentada en forma continua por una resistencia de 2W, y la inferior a 15 centímetros por debajo y que se mantiene a la temperatura del leño.

Los sensores se colocaron a 140 centímetros del suelo, en la cara sur del tronco, con el fin de minimizar el efecto del calentamiento solar, y la zona de inserción de las sondas se cubrió con material aislante aluminizado para evitar la insolación directa sobre el tronco.

La autonomía energética en forma permanente de todo el conjunto se logra mediante el uso baterías de ciclo profundo y paneles solares. El datalogger cuenta con una batería de 7 Amp.h-1 y un panel solar de 50 W, 12 V. Las sondas cuentan con una batería de 110 Amp.h-1 y un panel solar de 150 W, 12V. Las diferencias de voltaje o temperatura registradas entre las sondas permiten determinar la densidad de flujo de savia (Kg.dm-2.h-1) mediante una ecuación empírica establecida por Granier (1985):

$$DFS = 4,28 [(\Delta T_{max} - \Delta T) / \Delta T]^{1,231}$$

Siendo ΔT la diferencia de temperatura entre la sonda calentada y la de referencia y ΔT_{max} el valor máximo de ΔT para un período de 10 días, que sucede en momentos de flujo de savia nulo. Para la determinación de la transpiración es necesario conocer el área de leño conductor a la altura donde se encuentra la sonda (1,4 m) de cada árbol monitorizado.

Las diferencias de temperatura se registraron y almacenaron en el datalogger cada 30 minutos, de tal manera que permiten obtener un indicador continuo del flujo de agua que asciende por los árboles. Más adelante, se vinculará esta información con las características del dosel para escalar las medidas al rodal completo. En diciembre de 2019 se realizó la primer colecta de datos desde el logger y comprobó el buen funcionamiento general de todo el sistema de sondas y suministro continuo de energía.

3- RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A continuación se presenta (Grafico 1) la evolución de la densidad de flujo de savia para un día despejado a mediados de primavera.

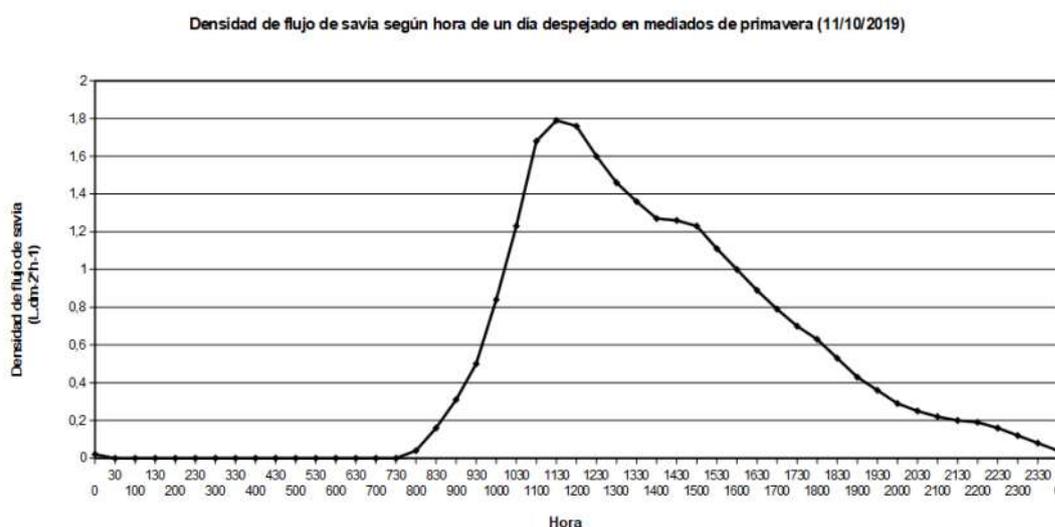


Gráfico 1. Densidad de flujo de savia a lo largo de un día soleado de primavera (11/10/2019).

Se aprecia un rápido acenso de este indicador por la mañana que se asocia al aumento del déficit de presión de vapor (DPV).

Luego de alcanzar su máximo al mediodía, la densidad de flujo de savia desciende aún a altos valores de DPV, hecho que podríamos atribuir a limitaciones estomáticas a la transpiración, que normalmente aparecen en momentos de alta demanda donde se produce un descenso de la humedad del suelo cercano a las raíces.

A modo de comprobación preliminar se estableció la asociación entre la densidad de flujo de savia y el DPV (Gráfico 2), que ha sido reportada previamente por numerosos autores. Como se esperaba, se halló una correlación positiva fuerte entre las variables.

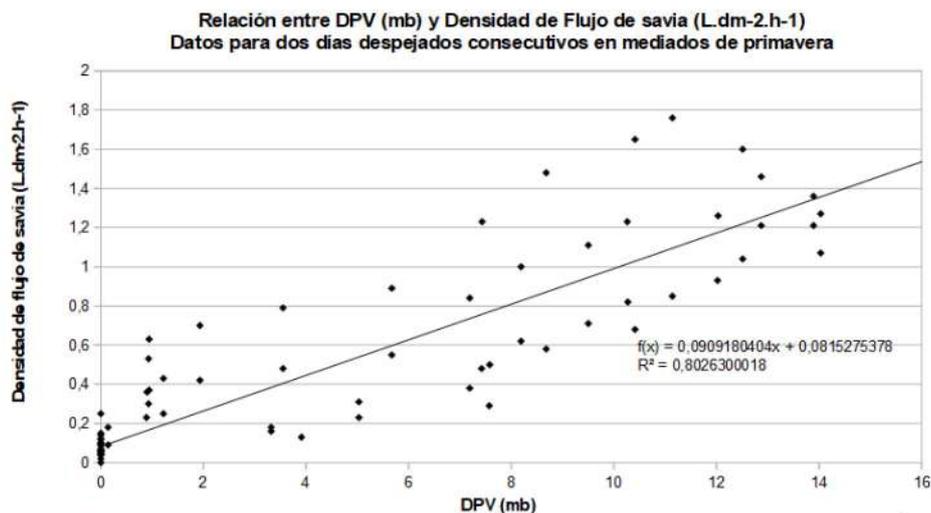


Gráfico 2. Relación entre DPV (mb) y Densidad de Flujo de savia (L.dm-2. h-1).

Los valores de DPV fueron calculados a partir de datos de un sensor de humedad relativa provenientes de una estación automática ubicada dentro del establecimiento Don Tomás. Durante las primeras horas de la mañana, aunque la temperatura del aire aumenta, este sensor permanece saturado, lo que resulta en un valor nulo de DPV, y finalmente en una pobre asociación con la densidad de flujo de savia. Expresado de otra forma, el agua empieza a ascender por el xilema debido a que el DPV aumenta en las primeras horas de la mañana, pero ese aumento no puede ser detectado por el sensor de humedad.

Durante el resto del día, la asociación entre variables es muy buena ya que el DPV es un muy buen indicador del poder secante del aire ya que su valor depende de la radiación solar, la temperatura del aire, el contenido de vapor de agua y el viento.

Se pudo completar con éxito la construcción e instalación del sistema de sensores de flujo de savia por disipación de calor y obtener los primeros datos de este tipo a nivel nacional.

REFERENCIAS

- Cífre, J.; Bota, J.; Escalona, J.; Medrano, H. Flexas, J. 2005: Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.): An open gate to improve water-use efficiency? *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 106 (2-3). 159-170.
- Granier, A. 1987: Mesure du flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique. *Annals of Forest Science*, 44: 1-14.
- Montaña, A. 2013: Eficiencia en el uso del agua, respuesta productiva y composición de la uva en viñedos de la variedad tannat (*Vitis vinifera* L.) conducidos en lira y espaldera, en el sur de Uruguay. Tesis de Maestría. UdelaR. Facultad de Agronomía. 98 p.
- Sociedad de Productores Forestales del Uruguay, 2021: Uruguay Forestal. Principales estadísticas del sector. Recuperado en línea: <https://spf.com.uy/uruguay-forestal/>



METEOROLOGÍA Y TECNOLOGÍA



“VIABILIDAD DEL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LATITUDES SUPERIORES A LOS 60°”

Palabras clave:

Antártida, Energía, Renovable, Eólica, Solar.

Gabriel Guigou Griot^{1,2}

gabrielguigou@hotmail.com

¹Universidad de la República (UDELAR)

²Instituto Uruguayo de Meteorología (Inumet)

1- INTRODUCCIÓN

Este trabajo aborda la identificación y evaluación de recursos renovables en latitudes superiores a 60°, con el propósito de generar energía en entornos desafiantes. Se consideran aspectos como costos, limitaciones geográficas, logísticas, climáticas y ambientales. Con tal fin analizan tecnologías viables para convertir estos recursos en energía utilizable, considerando ventajas, desventajas y restricciones climáticas y de implementación. Se revisa la experiencia histórica en la implementación de tecnologías maduras y se exploran desafíos tecnológicos en fuentes emergentes revisándose el estado del arte de las mismas. Se toma como caso de estudio la Base Científica Antártica Artigas (BCAA)

2- HIPÓTESIS, OBJETIVO DEL ESTUDIO Y ALCANCE

Reducir el uso de combustibles fósiles en un contexto específico mediante la adopción de fuentes de energía renovable, buscando independencia del modelo actual basado en combustibles fósiles. Se realiza un relevamiento de recursos que sean capaces de ser explotados con la tecnología actual, para cubrir la demanda con cierto grado de independencia. El objetivo particular es identificar y evaluar los recursos presentes como también sus formas de transformación. El objetivo general es contribuir con el desarrollo de la sostenibilidad impulsando un modelo de autoabastecimiento energético en el área geográfica específica donde se enfoca este trabajo.

3- METODOLOGÍA

La metodología se enfoca en identificar recursos, evaluar su viabilidad y proponer soluciones sostenibles para la generación de energía en condiciones desafiantes. Esto incluye un análisis de las tecnologías disponibles, el contexto geopolítico y la política energética, así como las condiciones climáticas extremas de la región. Se respalda con ejemplos exitosos y un caso de estudio detallado.

4- CLIMA ANTÁRTICO

Análisis el clima en relación a la generación de energía para el uso antropogénico. Se exploran las condiciones climáticas extremas y sus efectos en la producción energética, considerando desafíos como temperaturas bajas y vientos fuertes. Se evalúa cómo estas condiciones influyen en la elección de tecnologías a utilizar.

5- CONTEXTO Y ANÁLISIS

Se plantea la motivación como también se examina la situación geopolítica de la Antártida y la participación de Uruguay en el Tratado Antártico entre otros. Además, se aborda la política energética de Uruguay en relación a esta región.

6- DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS

Identificación y evaluación de recursos renovables presentes en la zona de interés. Caracterización de potencial de cada uno de ellos analizando el estado del arte de las tecnologías que estén en un punto de madurez capaz de extraer energía de ellos, haciéndose un análisis particular para las condiciones planteadas.

7- TECNOLOGÍA

Abordaje del estado actual de las tecnologías en relación a los recursos renovables, con un análisis y relevamiento detallado. Se examina si la madurez de cada tecnología se ajusta a las condiciones del sitio y si su explotación es factible en cada caso. En regiones de altas latitudes, como la Antártida, se enfrentan desafíos adicionales, destacando el almacenamiento energético debido a la variabilidad de recursos. Para abordar esto, se proponen soluciones como baterías de iones de litio, almacenamiento térmico y sistemas híbridos de energía renovable. Comprender la aplicabilidad de tecnologías específicas es esencial, lo que implica conocer experiencias pasadas y características del sitio, evaluando los recursos que determinarán los dispositivos a utilizar. Aunque 29 bases antárticas emplean energías renovables, solo una estación permanente y cuatro estaciones de verano utilizan estas fuentes para cubrir más del 50 % de sus necesidades energéticas (Ver Figura 1).

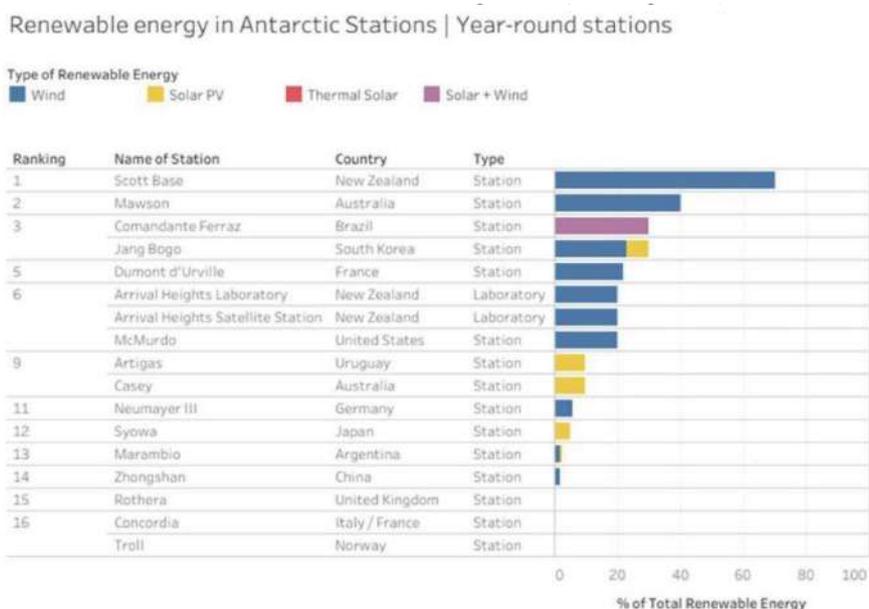


Figure 1 Porcentaje del consumo total de energía cubierto por fuentes renovables en instalaciones Antárticas, bases de verano. Fuente: Lucci JJ, Alegre M y Vigna L., 2022

8 - PLANTEO DEL PROBLEMA

Las características que presentan las condiciones planteadas, resaltan varios problemas a resolver para lograr objetivo general de contribuir con el desarrollo de la sostenibilidad. Dichos desafíos se describen en los siguientes puntos:

- La necesidad de un cambio de la matriz energética.
- Reducir costos asociados al uso de combustible fósiles
- Identificación de recursos renovables, estableciendo el estado del arte de aquellos que sean capaces de extraer energía en las condiciones planteadas.
- Demostrar que los recursos identificados son capaces de cambiar el paradigma de generación energética.
- Lograr que la energía renovable pueda cubrir parte significativa de la demanda.

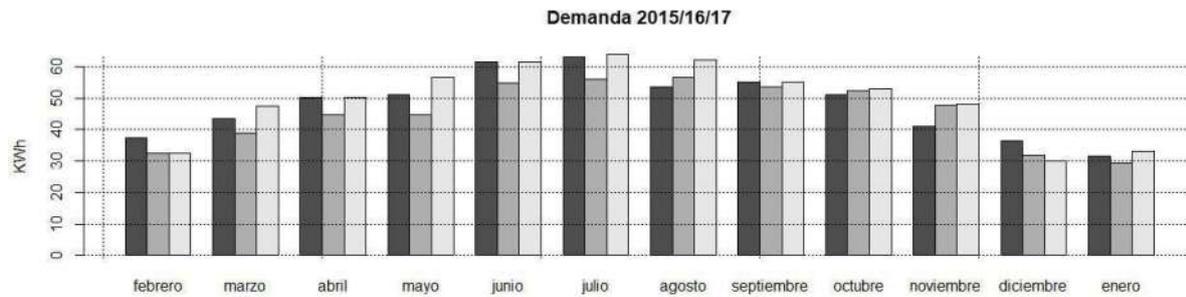


Figure 2 Demanda mensual. Nota; fuente UTE, elaboración autor.

Las figuras 3 y 4 muestran la distribución de los recursos eólico y solar, Fuentes: NASA, INUMET.

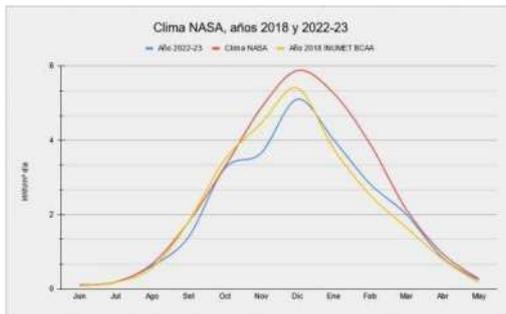


Figura 3. Distribución anual radiación global para BCAA. elaboración autor



Figura 3. Distribución anual, velocidad de viento Fuente: INUMET. Elaboración autor.

9- VIABILIDAD

El objetivo principal es identificar cómo están conformadas, en el momento actual, las cargas y la generación, para así identificar oportunidades de mejora en el sentido que se le da a este trabajo. De esta manera se elabora una hipótesis de la posible solución, la cual involucra la implementación de energías renovables y eventualmente, sistemas de almacenamiento de energía.

10- CONCLUSIONES

En los últimos 15 años, los sistemas renovables han aumentado y cubierto gradualmente una parte significativa de la demanda energética. Esto se debe al desarrollo y madurez de las tecnologías eólica y solar fotovoltaica, que han demostrado ser aplicables, superado exitosamente los desafíos del entorno planteado. Se analizó el caso de BCAA donde se va desarrollando con éxito la integración de sistemas eólicos y fotovoltaicos además proyecta su expansión. Además se identificó la opción de producir y almacenar hidrógeno como una manera de transformar la energía y contrarrestar las fluctuaciones en la generación renovable debido a su capacidad de almacenamiento.

En resumen, se han logrado alternativas viables para la generación de energía renovable en altas latitudes, impulsadas por tecnologías consolidadas y en crecimiento. Identificándose diferentes áreas y recursos que son propicios para utilizar en cada caso.

REFERENCIA

- Lucci JJ, Alegre M y Vigna L.: "Renewables in Antarctica: an assessment of progress to decarbonize the energy matrix of research facilities". En: Antarctic Science 34.5 (2022), págs. 374-388.
- UTE Uruguay: UTE - Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas. URL: <https://www.ute.com.uy/institucional/ute/quienes-somos>.
- NASA: Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) Surface Radiation Budget (SRB). URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Accedido el 20 de julio de 2023. NASA Langley Research Center.
- INUMET: Instituto Uruguayo de Meteorología. URL: <https://www.inumet.gub.uy/>

PROTOTIPO DE MICROESTACIÓN METEOROLÓGICA DE BAJO COSTO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES EN ARDUINO

Palabras clave: Calidad de aire, dispositivo, telemetría

Agustina Etchissure¹

Karen Acosta¹

Iván Zapata¹

agustina.etchissure@utec.edu.uy

karen.acosta@utec.edu.uy

jorge.zapata@utec.edu.uy

¹Universidad Tecnológica del Uruguay, UTEC ITR CS, Durazno.

1- INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es una amenaza muy importante que repercute a nivel de la salud, pudiendo generar graves afecciones respiratorias y cardíacas e incluso dañar potencialmente a personas con enfermedades pulmonares, cardíacas, embarazadas, adultos mayores y niños. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), son más de 100 millones de personas las que se encuentran expuestas a una calidad de aire no aceptada dentro de lo reglamentado en Latinoamérica y el Caribe (Korc, 2000). Esta situación es una de las principales dentro de la agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptada por la Organización de las Naciones Unidas. En Uruguay se encuentra el decreto 135/021 que regula la calidad del aire y define ciertos límites para cada parámetro que afecte considerablemente la calidad de vida de la población, la cual pasa a estar vigente a partir de 2024 (Ministerio de Ambiente, 2021). Actualmente son numerosas las técnicas para la medición de la calidad del aire in situ. Uno de los más confiables es la estación CAIRNET 3.0, una estación micrometeorológica capaz de medir variables que componen la calidad del aire como dióxido de carbono, metano, material particulado, así como variables ambientales como temperatura, humedad y presión. Se caracteriza por brindar mediciones en tiempo real y a su vez almacenarlas en una SD en caso de imprevistos que comprometan los datos. Posee una alta sensibilidad, lo que permite medir concentraciones muy bajas. Además, es muy fácil de utilizar, mantener y trasladar. Consta de una batería y panel solar para trabajar de forma autónoma, un módulo de comunicación inalámbrica y un contenedor que lo hace resistente a la intemperie (ENVEA, 2022). Otra alternativa que está comenzando a incursionarse es el uso de sensores de bajo costo. Estos se caracterizan por tener un costo que no superan los 500 dólares, obteniendo mediciones de los diferentes parámetros de forma confiable. Sus ventajas tanto en precio como en tamaño los hacen los más usados en el mercado y en la investigación, así como sus bajos costos en operación y mantenimiento. Los sensores son capaces de medir una alta diversidad de variables, como las variables meteorológicas de temperatura y humedad relativa, a su vez de variables de la calidad del aire como las concentraciones de ozono, dióxido y monóxido de carbono, material particulado, entre otros. Con el uso de telemetría, estos sensores permiten realizar la transmisión de información en tiempo real, facilitando en la exportación y tratamiento de datos (Navarrete and Soto, 2019).

En base a esto, el objetivo de este proyecto es desarrollar una microestación de monitoreo en tiempo real de la calidad del aire utilizando la plataforma de código abierto Arduino. Esta microestación abordará las variables clave de la calidad del aire como la concentración de material particulado (PM), que incluye partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. Además, se medirán parámetros atmosféricos como la temperatura y la humedad relativa, los cuales desempeñan un papel crucial en la formación y dispersión de contaminantes, incluyendo a su vez la concentración de ozono (O₃) y dióxido de carbono (CO₂), dos contaminantes directamente relacionados con la contaminación y el cambio climático (Ballesteros et al., 2007). La medición de estos parámetros en tiempo real proporcionará datos cruciales para evaluar la salud ambiental y tomar medidas adecuadas para mitigar los impactos negativos (García et al., 2020). La microestación va a ser calibrada con una estación CAIRNET 3.0 instalada en UTEC, como método validado y certificado. Este proyecto ofrece una alternativa viable, funcional y de bajo presupuesto, lo que lo convierte en una opción accesible para la monitorización de la calidad del aire.

2- MATERIALES Y MÉTODOS

El área piloto de estudio son las instalaciones de UTEC ITR Centro Sur situada en el departamento de Durazno, Uruguay. Para la creación de la microestación de bajo costo se necesita (se especifica cantidad y tipo de sensor): (1) sensor DHT11; (1) Sensor Análogo CO (MQ7); (1) Sensor de dióxido de carbono infrarrojo UART; (1) Sensor Electroquímico de Ozono I2C; (1) módulo ESP32; (1) Arduino UNO; (1) placa de expansión IO para Arduino V7.1. En la Figura 1 se muestra un esquema de conexión junto con la estructura fabricada en una impresora 3D con la finalidad de soportar a la intemperie. Los sensores son programados bajo el lenguaje de C++ en el entorno de Arduino.

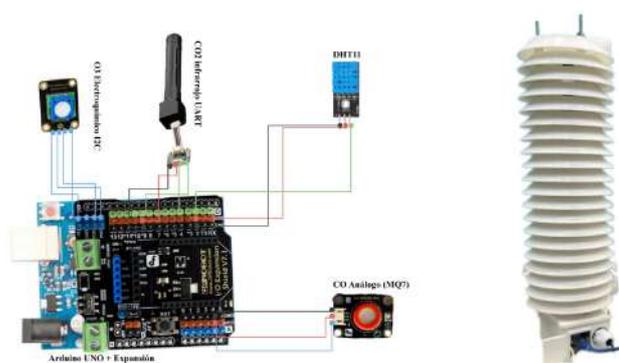


Figura 1. Diagrama de conexión y estructura de la microestación de bajo costo.

Además, se desarrolla una dashboard para la visualización gráfica de los resultados de la microestación en tiempo real. Una dashboard es una herramienta que proporciona una presentación visual de datos e información relevante en un solo lugar (Córdova et al., 2021). Para construir esta dashboard, se utiliza la plataforma open source "Grafana". Esta es una herramienta utilizada para la visualización y el análisis de datos en tiempo real. Permite conectarse a diversas fuentes de datos y crear paneles personalizados que muestran la información de forma interactiva a través de gráficos, tablas, mapas y otros elementos visuales.

3- RESULTADOS



Figura 2. Visualización del dashboard y datos de la microestación de bajo costo.

4- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este prototipo presenta un comportamiento adecuado para la toma de datos en campo, siendo su bajo costo una gran ventaja, permitiendo replicarlo de manera ágil y poder distribuirlo a lo largo de una zona de interés. Adicionalmente, a futuro, se tiene prevista la implementación de algoritmos de machine learning con el objetivo de mejorar la capacidad de pronóstico (forecasting) en el monitoreo de calidad del aire. El machine learning puede ser una herramienta poderosa para identificar tendencias, comportamientos estacionales, correlaciones y predecir futuros niveles de contaminantes atmosféricos con mayor precisión (Méndez et al., 2023). La implementación de estos algoritmos de machine learning se realizará en conjunto con la validación y calibración de los sensores utilizados en la microestación, siendo el equipo patrón que se utilizará para la validación y calibración la estación CAIRNET 3.0 de ENVEA.

REFERENCIAS

- Ballesteros, H. B., & Aristizabal, G. L., 2007: Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia). 96p.
- Córdova Viera, Y., Martínez Borrego, J., & Córdova Viera, E. (2021): Propuesta de metodología para el diseño de dashboard. Revista Cubana De Transformación Digital, 2(3), 56–76. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5545998>
- ENVEA, 2022: REDES AUTÓNOMAS DE MINIESTACIONES BASADAS EN SENSORES. <https://www.envea.global/es/s/ambient/gas-monitors-a/cairnet/>
- García, J. A. C., Aya, Á. A. R., Luna, J. A. F., & Contreras, R. H. P., 2020: Sistema de monitoreo en tiempo real de gases CO, CO₂, NO_x y PM_{2.5} en la ciudad de Villavicencio. Memorias.
- Korc, M. E., 2000: Situación de los programas de gestión de calidad del aire urbano en América Latina y El Caribe. Lima: Cepis.
- Méndez, M., Merayo, M. G., & Núñez, M. (2023). Machine learning algorithms to forecast air quality: a survey. Artificial Intelligence Review, 1-36.
- Córdova Viera, Y., Martínez Borrego, J., & Córdova Viera, E. (2021): Propuesta de metodología para el diseño de dashboard. Revista Cubana De Transformación Digital, 2(3), 56–76. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5545998>
- ENVEA, 2022: REDES AUTÓNOMAS DE MINIESTACIONES BASADAS EN SENSORES. <https://www.envea.global/es/s/ambient/gas-monitors-a/cairnet/>
- García, J. A. C., Aya, Á. A. R., Luna, J. A. F., & Contreras, R. H. P., 2020: Sistema de monitoreo en tiempo real de gases CO, CO₂, NO_x y PM_{2.5} en la ciudad de Villavicencio. Memorias.
- Korc, M. E., 2000: Situación de los programas de gestión de calidad del aire urbano en América Latina y El Caribe. Lima: Cepis.
- Méndez, M., Merayo, M. G., & Núñez, M. (2023). Machine learning algorithms to forecast air quality: a survey. Artificial Intelligence Review, 1-36.
- Ministerio de Ambiente, 2021: Decreto 135/021 <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-originales/135-2021>
- Navarrete, G. G., y Soto, K. G. R., 2019: SENSORES DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE. Epistemus, 13(27), 30-37.

ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS DE PRECIPITACIONES EN LAS ESTACIONES DE INUMET: PATRONES Y COMPORTAMIENTOS DE LAS LLUVIAS EN URUGUAY (1991-2021)

Palabras clave:

Precipitación, Series temporales, Patrones

Luana Frías-Telesca^{1,2}

Nelcy N. Atehortua-Sanchez^{1,2}

luana.frias@estudiantes.utec.edu.uy,

nelcy.atehortua@utec.edu.uy.

¹Artificial Intelligence Applications Group - ARIA

² Universidad Tecnológica de Uruguay (UTEC-ITRCS)

1- INTRODUCCIÓN

El clima tiene un gran impacto en la sociedad y el medio ambiente, generando una alta vulnerabilidad a los cambios climáticos. Las alteraciones en los patrones de precipitación constituyen un importante indicador climático que ha sido objeto de análisis por parte de diferentes disciplinas. Se ha dedicado especial atención al estudio de distribución espacial y variabilidad de la precipitación a lo largo del tiempo. En Argentina (Blanco, 2021) mediante un análisis de serie temporal se encontró que la intensidad pluviométrica en el nordeste argentino experimentó un incremento sostenido en los últimos 50 años. Un estudio realizado a series de datos de temperatura y lluvia en Bangladesh para evaluar la magnitud de los cambios estadística y espacialmente, mostró una notable disminución de las precipitaciones (Rahman and Lateh, 2017). El análisis de series temporales representa una valiosa herramienta estadística que permite estudiar datos pasados y extraer información relevante para realizar proyecciones futuras, como se presenta en el trabajo realizado por (Oliveira and Petrucci, 2022). Esta herramienta busca comprender los componentes que conforman la serie temporal, extrayendo información importante como oscilaciones, amplitud, ciclos, tendencia, errores; permitiendo conocer detalles de su comportamiento (Bayer and Souza, 2010).

Algunos trabajos realizados en Uruguay han estudiado la existencia de patrones espaciales de las precipitaciones máximas anuales (Santiñaque, 2020), sin embargo, este tipo de investigaciones son escasas comparado con otros países. Es crucial realizar estudios para identificar más detalles en el comportamiento de las precipitaciones del país, que faciliten la toma de decisiones basadas en pronósticos y la mitigación de los impactos que genera su variabilidad. En este trabajo se realizó un análisis exploratorio mediante estadística descriptiva y descomposición de series temporales para identificar comportamientos y patrones en el país utilizando los registros de precipitación de las estaciones de Inumet.

2- MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio abarca a todo el territorio de Uruguay. Los datos empleados en este estudio provienen del Instituto Uruguayo de Meteorología (Inumet), que dispone de una amplia red de estaciones meteorológicas. El conjunto de datos de precipitaciones utilizadas comprende el periodo de 1991 a 2021, con una resolución diaria; provenientes de 20 estaciones meteorológicas convencionales distribuidas en todo el territorio de Uruguay. Se consideraron los registros etiquetados como TRAZA = 0.1 mm de acuerdo a la información disponible en los datos. Algunos datos no tienen un registro diario específico, sino registros acumulados de días posteriores, en este caso se realizó el promedio del acumulado. En el caso de ceros sin verificar y datos faltantes se realizó una imputación univariada utilizando la media como valor de imputación. La estación Minas y San José fueron descartadas del conjunto de datos ya que superan el 10% de datos faltantes. Cabe resaltar que estos datos no están disponibles públicamente, sino que se requiere solicitar acceso al instituto para obtenerlos.

Una serie temporal puede ser analizada a través de la descomposición en Tendencia (T), Estacionalidad (S), Ciclo y Componentes Irregulares (I). Este enfoque permite comprender cómo cada componente contribuye a la formación de la serie temporal, facilitando la realización de pronósticos. La descomposición puede ser llevada a cabo mediante el modelo aditivo $y_{at}^{\wedge} = \tau_t^{\wedge} + s_t^{\wedge} + i_t^{\wedge}$ y el modelo multiplicativo $y_{mt} = \tau_t^{\wedge} * s_t^{\wedge} * i_t^{\wedge}$. La elección entre estos modelos dependen de las características de los datos. El modelo aditivo es más apropiado para datos con tendencia lineal y estacionalidad

constante en relación al nivel de la serie. El modelo multiplicativo es más adecuado para datos con tendencia no lineal y estacionalidad que varía en relación al nivel de la serie. La estacionalidad es una característica común en muchas series temporales, las pruebas de estacionalidad se hacen con el objetivo de identificar la presencia de patrones repetitivos o cíclicos a lo largo del tiempo.

3- RESULTADOS

Una vez realizado el preprocesamiento de los datos, de las 20 estaciones quedamos con un total de 17 estaciones para el estudio, descartando la estación de Tacuarembó ya que para el 2018 dejó de funcionar, por lo tanto algunos de los datos registrados correspondían a una estación cercana y contaba con un número considerable de ceros sin verificar. En el análisis exploratorio de los datos se tuvo una precipitación anual acumulada para todas las estaciones por año, identificando que el año más lluvioso fue el 2002 y el año más seco fue el 2008, resultados que coinciden con los obtenidos en (Luana et al., 2023). Para el análisis espacial del comportamiento de los registros de precipitación se dividió el país en tres regiones: norte, centro y sur, identificando las estaciones en cada región (ejemplo para la región sur figura 1).

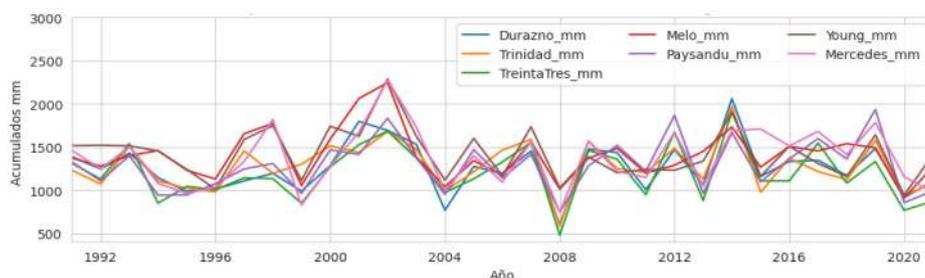


Figura 1. Precipitaciones acumuladas por año para la región centro.

La región norte quedó conformada por las estaciones Artigas, Rivera y Salto, con valores de precipitación acumulada anual entre 900-2600 mm aproximadamente y una media para todo el periodo de estudio de 1459.3 mm. La región centro por las estaciones Durazno, Melo, Young, Trinidad, Paysandú, Mercedes y, Treinta y Tres, con valores de precipitación acumulada anual entre 500-2300 mm aproximadamente y una media de 1320.0 mm, y la región sur las estaciones de Carrasco, Punta del Este, Melilla, Colonia, Prado, Rocha y Florida, con valores de precipitación acumulada anual entre 600-2000 mm aproximadamente, con una media de 1184,9 mm. En la figura 2 se observa el comportamiento de las medias para cada región evidenciando un comportamiento homogéneo en las precipitaciones del país, pero con una notable disminución en magnitud de las precipitaciones de norte a sur, esto puede deber a las diferentes masas de aires que influyen en las precipitaciones de las regiones.

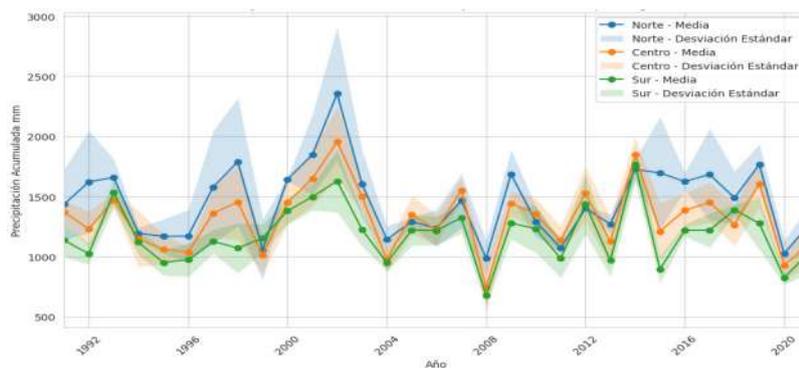


Figura 2. Media y desviación estándar de precipitaciones anuales por región.

La descomposición de la serie temporal se realizó por estaciones y por regiones para los datos mensuales y anuales, obteniendo mejores resultados con la descomposición aditiva mensual, que refleja con mayor claridad las componentes de la serie, como la tendencia, la estacionalidad y los componentes irregulares.

4- CONCLUSIONES

Los resultados revelaron que se tiene mayores precipitaciones en el norte del país y van disminuyendo hacia el sur, encontrando que para el periodo de estudio se tuvo que el año más lluvioso fue el año 2002 y el año más seco fue el 2008. La descomposición de la serie refleja patrones estacionales en los datos, evidenciando una reducción significativa en los volúmenes anuales de precipitación. Por lo que pueden ser utilizados métodos estadísticos para hacer inferencias en los datos a partir del comportamiento de los datos.

REFERENCIAS:

- Antônio de Oliveira, L., & Petrucci, E. (2022): Análisis de la serie de tiempo de la precipitación mensual y eventos de sequía extrema en el municipio de Carmo do Paranaíba/MG-Brasil. *Revista de Climatologia*, 22.
- Bayer FM, Souza AM (2010): Wavelets e modelos tradicionais de previsão: um estudo comparativo. *Revista Brasileira de Biometria*, 28:40-61.
- Blanco, P. S. (2021): La intensidad de las precipitaciones y el cambio climático: tendencias y variabilidades interanuales registradas en algunas localidades del Nordeste Argentino (Período 1971-2019).
- Luana, F., Nelcy, N. A. & Fernando, P (2023): Temporal Analysis for the Identification of Extreme Rainfall Events Recorded in Uruguay Over a 30-Year Period (1991–2021), 2023 IEEE 13th ICPRS, Guayaquil, Ecuador, 2023, pp. 1-5.
- Rahman, M. R., & Lateh, H. (2017): Climate change in Bangladesh: a spatio-temporal analysis and simulation of recent temperature and rainfall data using GIS and time series analysis model. *Theoretical and applied climatology*, 128, 27-41.
- Santiñaque Mesones, F. (2020): Análisis estadístico de las precipitaciones anuales extremas en Uruguay

EL CAMPO DE HUMEDAD Y EL FLUJO DE HUMEDAD EN 925 HPA EN EVENTOS DE PRECIPITACIÓN SIGNIFICATIVOS SOBRE URUGUAY

Palabras clave:

925mb, humedad, flujo.

R. Mario Caffera ^{1,2}

mcaffera@fagro.edu.uy

¹Sociedad Amigos del Viento meteorología-ambiente-desarrollo

²Universidad de la República (UDELAR)

1-INTRODUCCIÓN

La "obligatoriedad" del nivel de 925mb, planeada desde 1977 (OMM, 1977), fue finalmente adoptada en todo el mundo a finales de 1991 (Oakley, 1993). Se trata de un nivel bajo, pero donde se pueden apreciar características del campo de humedad con cierta independencia de las características de la superficie subyacente en el momento de referencia. Ello ya había sido señalado en décadas anteriores (Berri e Inzunza, 1993). Luego adquirió notable trascendencia con varios proyectos regionales e internacionales (Vera et al, 2006). Sin embargo, no resulta de examen exhaustivo en algunas Centrales Nacionales de Análisis en Sudamérica, por lo cual aquí se intenta enfatizar en algunos aspectos de interés, presentando campos de humedad específica y flujo de humedad durante eventos de precipitación significativa en Uruguay.

2- METODOLOGÍA

Se determinaron 15 episodios de precipitación significativa a través de los mensajes CLIMAT y diarios La cartografía que se muestra fue erigida a través del paquete GrADS con datos de Reanálisis del NCEP (<https://downloads.psl.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis>). Antes ya se habían realizado sobre el mismo territorio uruguayo algunos ensayos (Caffera, 2003, Bidegain et al., 2006, Salaberry et al, 2006). Por ejemplo, las figuras 1 (a y b) muestran el flujo de humedad en el Sudeste de Sudamérica durante 2 momentos de las inundaciones de 1959.

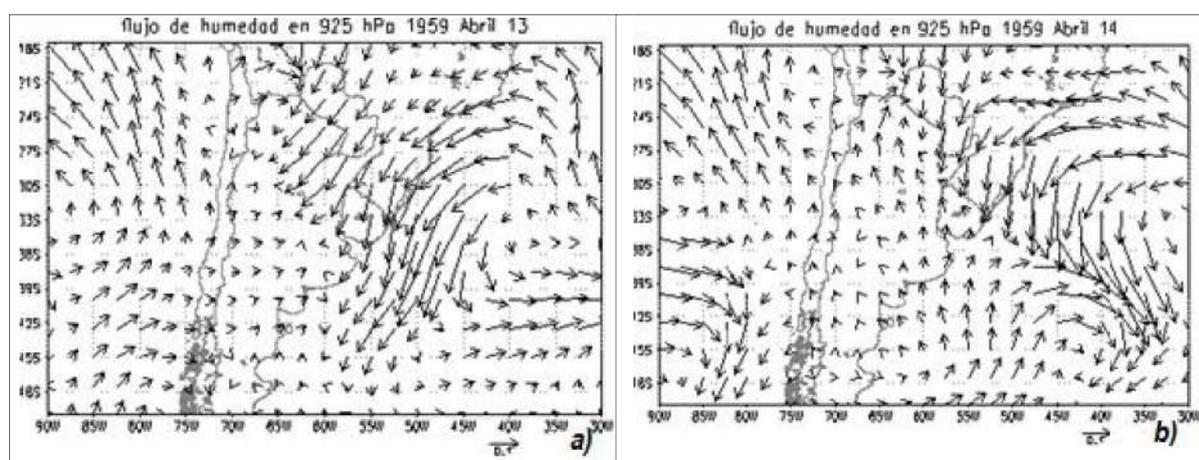
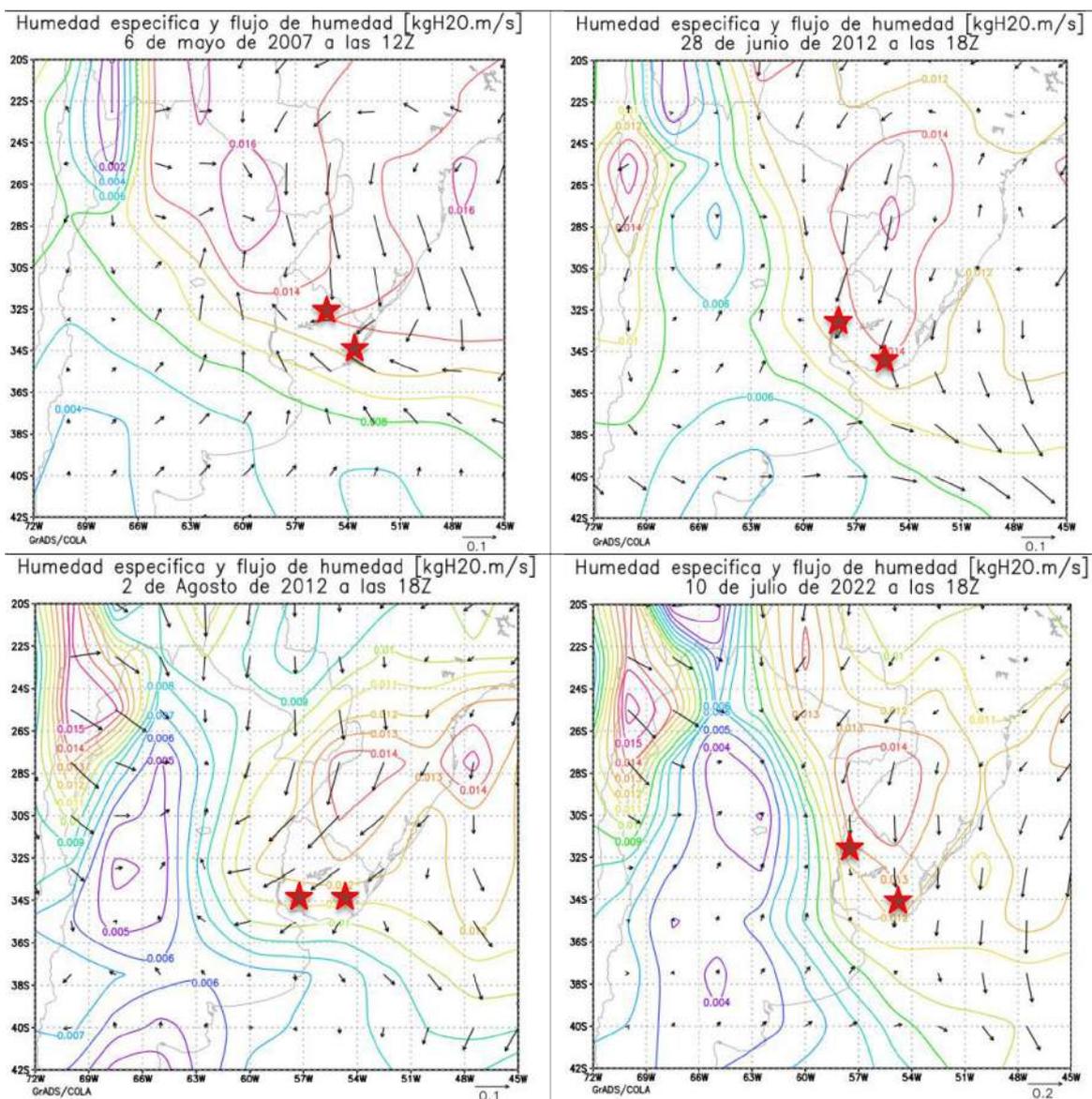


Figura 1. Flujos de vapor en 925 hPa, a) el 13 de abril y b) el 14/4/1959. Nótese en este último, la zona de convergencia, de carácter frontal, comenzando en el vértice norte de Uruguay y extendiéndose al Sureste hasta bien entrado en el Océano. Tomado de Caffera (2003). Al pie de cada mapa el vector ejemplo de flujo corresponde a 0,1 g vapor/kgaire/ms-1

Los eventos relevados fueron del 24 al 25 de abril, y del 6 al 7 de mayo en 2007 – año lluvioso –; del 12 al 15 de junio, del 28 de junio al 2 de julio, del 1ro al 4 de agosto, el del 7 de agosto, el del 15 al 18 de agosto, los del 20 y del 24 de ese mes,

y del 5 al 8 de setiembre en el año 2012 – año lluvioso –. Para el año 2022 – año seco –, los eventos relevados fueron los del 9 al 11, del 15 al 21 y el del 22 en julio, el del 3 al 4 y el del 15 en agosto. Por último, el del 9 de setiembre de ese año. Se muestran a continuación 6 mapas a modo de ejemplo.

3- RESULTADOS



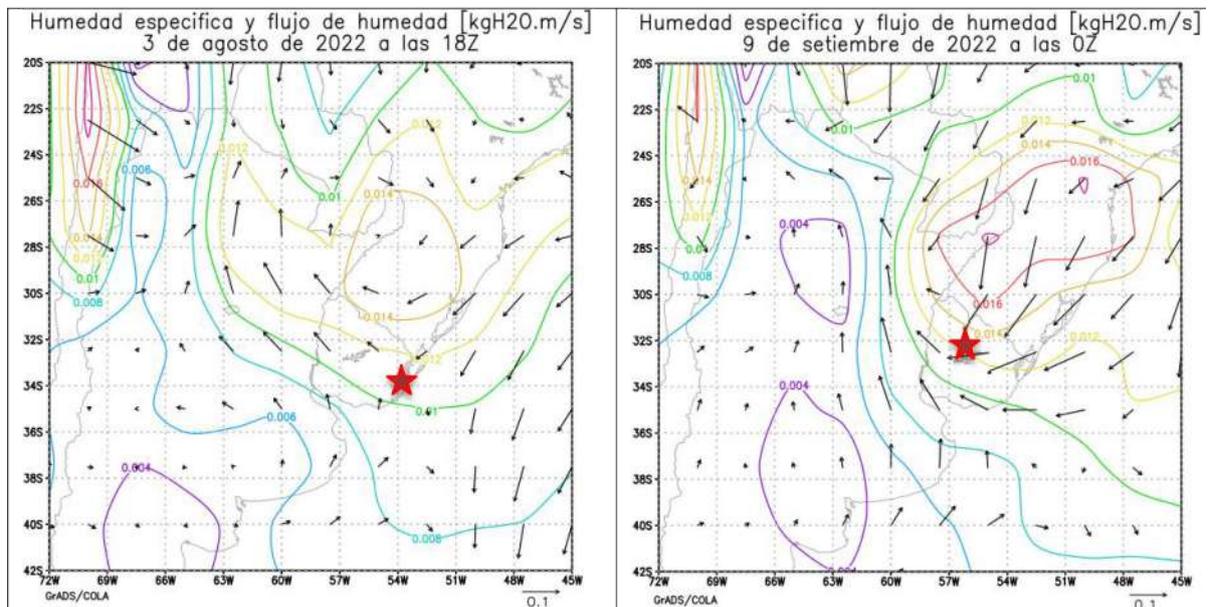


Figura 2. Ejemplos de situaciones lluviosas. Las estrellas marcan zonas de convergencia de humedad. En cada mapa el vector ejemplo de flujo corresponde a $0,1\text{g vapor/kg aire}\cdot\text{ms}^{-1}$ mientras que las líneas están en kg vapor/kg aire

4- CONCLUSIONES

Los flujos de más de $100\text{gH}_2\text{O/kg aire}$ consignados en los reanálisis del modelo GFS para el 13 de abril de 1959, comparando con los remanentes, siguen siendo bastante excepcionales. Pero es de señalar que en ese tiempo, la disponibilidad de información de altura en el Hemisferio Sur era muy deficiente si se compara con la ingesta de datos de reanálisis en el presente siglo. Se puede apreciar preliminarmente, que las precipitaciones resultan significativas cuando la isolínea 0.014 ($14\text{gH}_2\text{O/kg aire}$) se encuentra sobre el territorio o a menos de unos 50km , aunque algunas veces – no mostrado en los ejemplos – alcanzó con la presencia de la isolínea 0.012 .

También es importante el sentido y la magnitud del flujo de humedad. A través de los vectores se pueden apreciar algunas regiones de convergencia de humedad, las que en teoría corresponderían a las precipitaciones mayores alrededor de la hora "del mapa", especialmente en invierno. Estos resultados preliminares y cualitativos son pasibles de ser corroborados mediante sistemas de reanálisis más densos existentes, y la información pluviométrica.

Por último, insistimos en que una atenta mirada a los mapas del nivel 925 mb si bien no reemplaza la integración de la humedad específica en varios niveles (desde superficie hasta 700mb), puede resultar un método rápido para estimar la confiabilidad de una u otra salida numérica en los modelos de pronóstico.

CITAS Y REFERENCIAS

- Berri, G. J. & Inzunza, J. B., 1993: The effect of the low-level jet on the poleward water vapour transport in the central region of South America. Atmos. Environ. Part A. Gen. Topics 27
- Bidegain M., Caffera, R. M., de los Santos, B., Castellazzi, P. y Gómez-Rivera J., 2006: "Performance of the WRF Regional Model over South Eastern South America during an Extreme Event" 2006. Presentación PC1.25, ponencia en poster en la 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Foz de Iguazú 24-28 de abril.
- Caffera M., 2003: "Primeros avances sobre Eventos de Inundación en Uruguay, y la Circulación Atmosférica en Capas Bajas". Meteorologica, vol 28: 97-107, 2003.

- Oakley, T, 1993: Report by the Rapporteur on Radiosonde Compatibility Monitoring. Part B – Compatibility of Radiosonde Geopotential Measurements 1990, 1991 and 1992. IOM
- Report No. 56, WMO/TD No. 587 [disponible en: <https://library.wmo.int>].
- Salaberry, G. M., Caffera, R. M., 2006. Análisis Comparativo de dos eventos mayores de inundación en la República Oriental del Uruguay. Enfoque atmosférico". XX Congreso Nacional del Agua, Arg. III Simposio de Recursos Hidricos del Cono Sur. Mendoza, Argentina.
- Vera, C. et al., 2006: The South American low-level jet experiment. Bull. Am. Meteorol. Soc. 87, 63–77.
- WMO, 1977: Twenty-Ninth Session of the Executive Committee, Abridged Report with Resolutions (Geneva, 26 May -15 June 1977), WMO–No.483 [disponible en: <https://library.wmo.int>], 1977.

CONTRIBUCIÓN A LA CLIMATOLOGÍA DESDE ESTACIONES SATELITALES GNSS

Palabras clave:

Vapor de Agua, GNSS, Estaciones Meteorológicas.

M. Fernanda Camisay¹,

Jorge Faure¹,

M. Virginia Mackern²

mfcamisay@fing.edu.uy

¹Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (UDELAR)

²Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina (UNCuyo)

1- INTRODUCCIÓN

La Geodesia, ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra, ha incorporado a los sistemas globales de navegación satelital (GNSS) como una de sus técnicas principales para la determinación precisa de coordenadas en la superficie. De esta forma cada país ha instalado y mantiene día a día, una red de estaciones GNSS de observación continua, que se ha convertido en la infraestructura principal para toda información geoespacial.

Así mismo, estas redes GNSS han ampliado su objetivo principal de georreferenciación y están siendo utilizadas para conocer y monitorear variables atmosféricas.

Cuando la señal GNSS atraviesa las distintas capas de la atmósfera, sufre variaciones que pueden ser estimadas, conociendo la posición del sitio de observación y de los satélites, con precisión. Existen dos cambios o retardos principales, uno producido en la ionosfera y otro en la troposfera. Este último denominado retardo cenital troposférico (ZTD) es el dato a partir del cual se calcula el contenido de vapor de agua troposférico.

En esta línea surge la técnica de estimación del vapor de agua integrado (IWV) desde los retardos cenitales troposféricos (ZTD) (Davis, et al, 1985). La misma ha sido muy estudiada en las últimas décadas (Bevis et al. 1992) y está siendo utilizada en diferentes regiones como una importante herramienta de apoyo a otras ciencias orientadas a la investigación del clima, análisis meteorológico y pronóstico.

A nivel continental, el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), desde el 2014 ha implementado una estrategia para calcular los ZTD en cada una de las estaciones GNSS de la red. Con dichos productos se calcula el vapor de agua integrado (IWV) de la columna atmosférica por sobre cada estación GNSS. Para esta estimación se utilizan variables atmosféricas desde el modelo de re-análisis europeo ERA5.

En este trabajo se propone una metodología alternativa de cálculo del IWV, reemplazando los datos del re-análisis, por registros de temperatura (Tem) y presión atmosférica (P) de estaciones meteorológicas de superficie. El caso de estudio se centra en las estaciones de la red GNSS uruguaya REGNA-ROU, para un período de 10 años, utilizando los registros meteorológicos del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET).

2- METODOLOGÍA

Los productos troposféricos finales de SIRGAS (<https://sirgas.ipgh.org/n/products/tropospheric-delays/>) fueron utilizados para calcular el vapor de agua integrado, en 17 estaciones de Uruguay (Fig. 1, círculos amarillos), siguiendo la metodología descrita en Mackern et al. (2022). El período de estudio abarcó desde enero de 2013 a junio de 2023.

Se solicitaron al INUMET los registros horarios de las estaciones meteorológicas MET (Fig1, triángulos azules) que fueron seleccionadas por cercanía a las estaciones GNSS, se adoptó una distancia máxima 30 km.

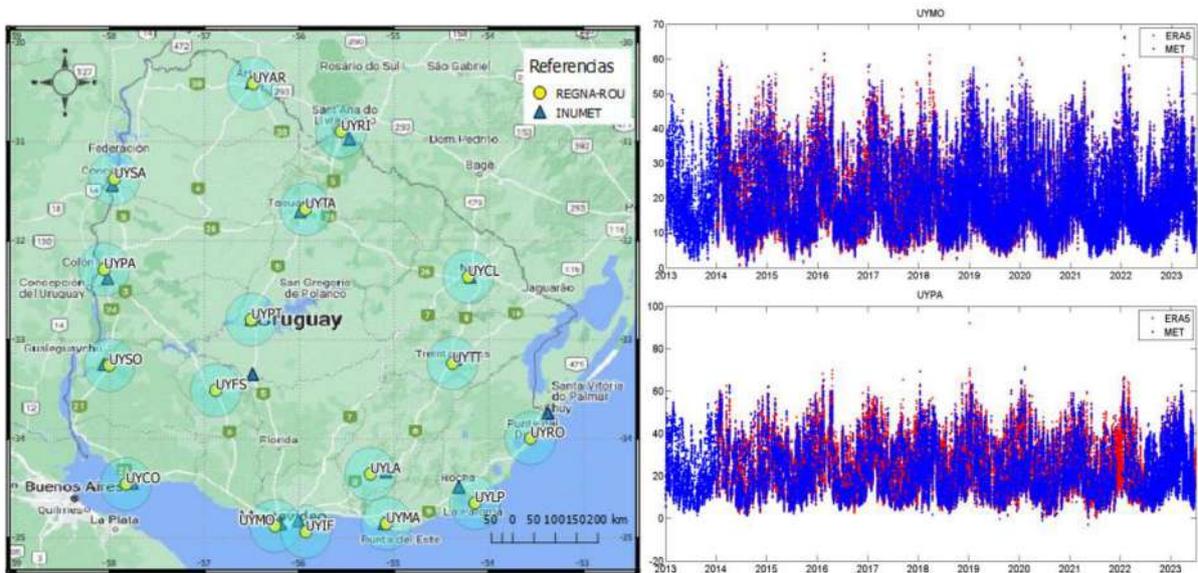


Figura 1: Izquierda: Zona de estudio, zona de cercanía 30 km (círculos celestes) entre estaciones GNSS y MET. Derecha: IWVMET (azul) e IWVERA5 (rojo), estación UYMO (localización Sur) y estación UYPA (localización Oeste).

3- RESULTADOS

Se obtuvieron las series de IWV_{MET} , como un primer resultado, habiendo filtrado valores atípicos en los datos de entrada (ZTD, Tem, P). Para validar las mismas, se utilizaron los valores de IWV ERA5. En la Figura 1 (derecha), se muestran a modo de ejemplo las series comparadas para dos estaciones, UYMO (Montevideo) y UYPA (Paysandú) donde se observa buena correspondencia. Se obtuvo una diferencia promedio que se mantuvo durante todo el período analizado, menor que $0,5 \text{ kg/m}^2$ en el 88% de las estaciones.

Como segundo aporte se obtuvieron valores medios de IWV para cada mes del año, por cada estación, considerando que el vapor presenta variabilidad estacional. Se observan las mayores amplitudes de vapor en verano y menores en los meses de invierno. El comportamiento es similar en las estaciones estudiadas (Figura 2).

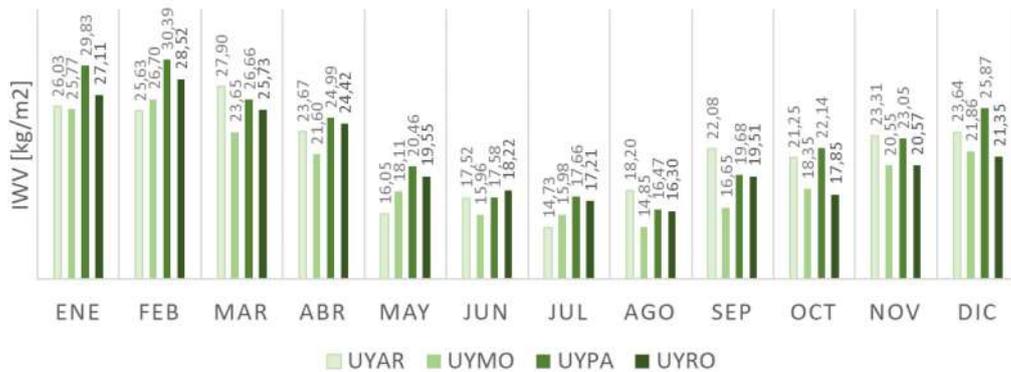


Figura 2: Valores medios mensuales de IWVMET para las estaciones de UYAR, UYMO, UYPA, UYRO.

A partir del análisis de promedios mensuales de vapor, se pudieron detectar anomalías. En la Figura 3 se observa cómo la serie de enero de 2023 se encuentra por debajo de los valores medios, lo que se corresponde con el período de déficit pluviométrico reportado por INUMET (Informe Sequía Meteorológica 2020 - 2023). Se muestran las series comparadas para aquellas estaciones que presentan más de tres años de datos.

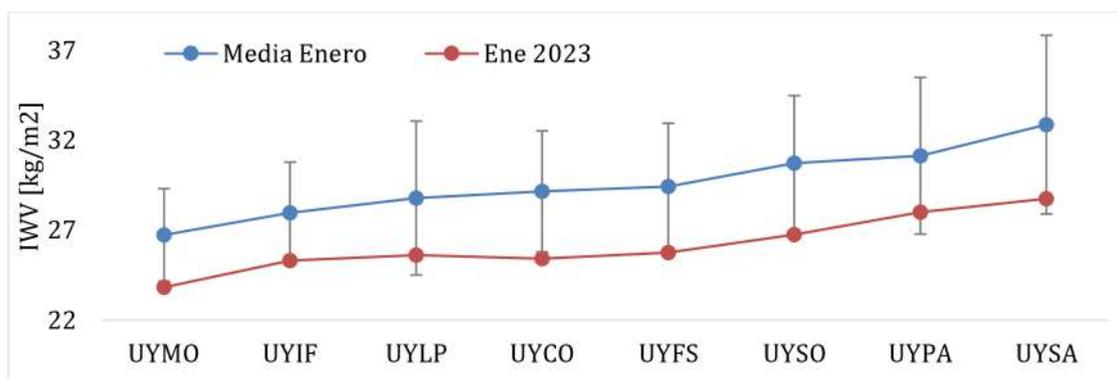


Figura 3: Valores medios mensuales de IWVMET para el mes de enero, comparado con enero 2023 (seco). Barras de error, desvío estándar de los promedios.

También se detectaron anomalías positivas de vapor, coincidentes con eventos de fuertes precipitaciones, como las ocurridas en enero de 2019 (Fig. 4).

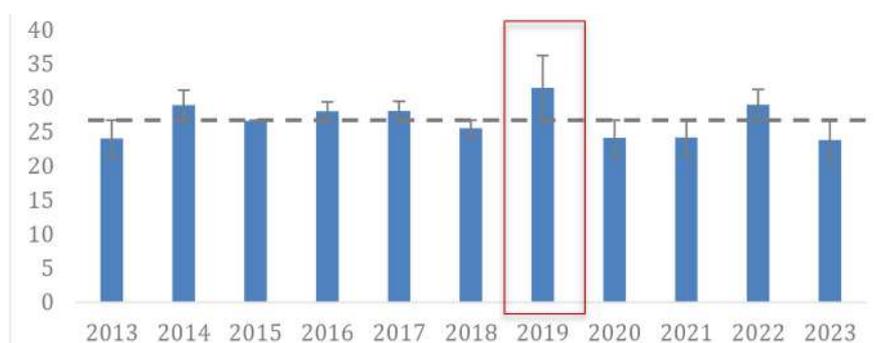


Figura 4: Valores medios mensuales de IWV_{MET} para la estación UYMO, la línea punteada demarca el valor medio de los 10 años analizados, las barras de error representan el desvío respecto a dicha media.

4- CONCLUSIONES

Se expone la contribución que pueden realizar las actuales redes GNSS al estudio de la atmósfera baja. Dichas redes ya se encuentran instaladas y permiten conocer la variable vapor de agua con buena resolución espacial y temporal. Cabe aclarar que en Uruguay no se disponen de mediciones directas de vapor de agua (por ej. radiosondeos), razón por la cual estas estimaciones resultan un significativo aporte a la investigación climatológica sobre la región.

Las series obtenidas fueron validadas con las provenientes del re-análisis ERA5, mostrando buena correspondencia (error cuadrático medio=0.4 kg/m²). Luego se calcularon los valores medios mensuales de IWV para cada estación, incluyendo un período de 10 años (en algunas estaciones es menor). De esta forma se han podido detectar anomalías de vapor en algunos períodos, que evidencian el aporte de esta técnica en el estudio de eventos meteorológicos.

5-REFERENCIAS

- Bevis M., Businger S., Herring T A, et al (1992) GPS meteorology: remote sensing of the atmospheric water vapor using the global positioning system. J Geophys Res 97:15787–15801.
- Davis, J.L., Herring, T.A., Shapiro, I., Rogers, A.E., Elgened, G., (1985). Geodesy by Interferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Base Line Length. Radio Sci., vol. 20, 1593-1607
- Mackern M.V., Mateo M.L., Camisay M.F., Rosell P.A. (2022). Quality control of SIRGAS ZTD products. Journal of Geodetic Science 2022, 12. <https://doi.org/10.1515/jogs-2022-0136>

EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS EN ÁREAS DEL RÍO DE LA PLATA; CONTRIBUCIONES DEL SENSORAMIENTO REMOTO EN EL PRONÓSTICO Y MONITOREO ATMOSFÉRICO

Palabras clave:

sondeo, precipitación, inestabilidad.

Viviana Rolan¹

Sergio Jalfin²

Ricardo Vidal³

r.rolan@inumet.gub.uy

sergiojalfin@gmail.com

rvidal@smn.gob.ar

¹Instituto Uruguayo de Meteorología

²Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible- Argentina.

³Servicio Meteorológico Nacional- Argentina.

1- INTRODUCCIÓN

El presente trabajo surge inspirado en un hito de avance tecnológico del Liceo Los Pinos - Uruguay, que implicó el lanzamiento de una sonda meteorológica el 29 de julio de 2023. A raíz de ello, esta investigación tiene por finalidad mostrar las potencialidades en la implementación de diferentes herramientas e instrumentos en etapas de pronóstico (diagnóstico y pronóstico) y monitoreo de dos eventos meteorológicos extremos, ocurridos durante los meses de mayo y agosto de 2023 con afectación en áreas de Uruguay y Argentina. Los fenómenos asociados a estos eventos han sido registrados y documentados por los respectivos Servicios Meteorológicos e Hidrológicos de cada país, con competencia en la emisión de avisos y advertencias meteorológicas. Los fenómenos asociados en estos casos a tormentas fuertes, incluyeron: actividad eléctrica, rachas de viento fuerte, precipitación de granizo e intensas lluvias. Este último fenómeno hidrometeorológico derivó en importantes crecidas de ríos, arroyos e inundaciones urbanas, por lo cual en esta instancia se concentrará el análisis y conclusiones en la Estimación Cuantitativa de la Precipitación (ECP). Un fenómeno de "precipitación extrema" ocurre cuando la precipitación media en un periodo de tiempo especificado supera el umbral de un determinado percentil, por ejemplo, los percentiles del 90 al 99 (Kuleshov et al., 2020). En tal sentido, son eventos que implican un sobre esfuerzo de los predictores operativos tanto por la magnitud del evento y sus consecuencias, como por su singularidad estadística en etapas de investigación. En la actualidad y en sintonía con el avance tecnológico, existen diversos sensores remotos que se encuentran operativos apoyando a la vigilancia meteorológica en tiempo real. Se expondrá en este trabajo un breve análisis de la situación atmosférica, los indicios de inestabilidad captados por los sensores remotos y los modelos numéricos del tiempo, así como los datos obtenidos (en la ECP) utilizando diversos instrumentos para la estimación espacio temporal de la variable.

2- METODOLOGÍA

Desde el punto de vista metodológico se combinaron varias técnicas, distribuidas en (iii) etapas: (i) Recopilación de información antecedente de servicios meteorológicos (INUMET, SMN, NOAA) para dos eventos meteorológicos extremos (24-26/05/23 y 16-17/08/23) y en consecuencia realización de una base de datos (en adelante referenciada como: "BDMH, 2023"): cartas sinópticas de superficie, cartas de altura, imágenes de radar, imágenes de satélite, radiosondeo, salidas gráficas de modelos numéricos de predicción (mesoescala: WRF 4km, global: GFS 25 km y GFS 50 km), datos de precipitación observada, entre otros; (ii) Revisión bibliográfica con énfasis en la temática y en los eventos objeto de estudio; y (iii) Análisis exploratorio y evaluación técnica de la información recolectada.

2- METODOLOGÍA

Antecedentes evento 1 y 2: la atmósfera se encontraba baroclínica e inestable, los principales indicios encontrados en la recopilación de información para el monitoreo en tiempo real (datos en BDMH, 2023) que sustentan tal afirmación fueron: (I) mecanismo de disparo (forzamiento dinámico) en la configuración de la carta sinóptica (24/05/23 hora 15:00 UTC); frente semi-estacionario en superficie con apoyo de vaguada y ondas cortas en altura, (II) fuerte jet de capas bajas con aporte de humedad 850 hPa / apoyo del jet de capas altas, (III) suficiente inestabilidad para la convección profunda,

reflejada en el índice de energía potencial convectiva disponible (CAPE), (IV) entornos de marcada cizalladura vertical del viento. En el evento del mes de mayo, se destaca la presencia de un frente semi-estacionario que permaneció durante 48 horas -aproximadamente- sobre el área del Río de La Plata dando como resultado tormentas con lluvias de variada intensidad. Las precipitaciones más significativas ocurrieron entre los días 24 y 26, con máximos (acumulados en 24 horas) de hasta 140 mm en la ciudad de La Plata ubicada en la Provincia de Buenos Aires, Argentina y 120 mm en el Departamento de Paysandú, Uruguay.

Así mismo, en el evento meteorológico que transcurrió entre los días 16 y 17 de agosto también se observa la presencia de un frente semi-estacionario sobre la región del Río de La Plata con indicios de inestabilidad que dieron lugar a importantes precipitaciones, superando los 130 mm (acumulados en 24 horas) nuevamente en la ciudad de La Plata, siendo un récord climatológico para el mes de agosto como precipitación diaria. En el caso de Uruguay, la precipitación máxima se registró en el Departamento de Florida con un valor de 134 mm, acumulados desde la hora local 07 del 17/08, hasta la 07 del 18/08.

Predicción Numérica del Tiempo (PNT) El modelo determinístico de mesoescala WRF 4 km (Arg.) inicializado a las 00 UTC del 24/05/23 mostraba en las salidas gráficas del producto de reflectividad (4 km), valores superiores a 50 dBZ para la zona posteriormente afectada en tiempo real por las tormentas con lluvias fuertes, coincidiendo con alta precisión espacio-temporal, el PNT con los valores captados luego mediante el sensoramiento remoto en etapas de monitoreo, una vez ya emitidas las alertas y avisos meteorológicos correspondientes por los servicios oficiales de cada país. Para los valores del índice TOTAL TOTALS, también resultó coincidente el WRF con valores mayores a 50, y hasta superiores a 56 en áreas de elevada reflectividad. En cuanto al M-CAPE (mayor a 2500 J/kg) los valores pronosticados por el modelo también eran coincidentes en la dimensión espacio-temporal de la inestabilidad captada, en donde además los campos de vorticidad relativa, temperatura y barbas de viento en 500 hPa denotaban la presencia de una importante vaguada. En cuanto al jet de capas altas, la salida gráfica del WRF (isotacas, barbas de viento y divergencia en 250 hPa) mostraba para el día 24 y 25/05, marcada divergencia en altura, favoreciendo la zona de mayor inestabilidad para la convección profunda. Por su parte la presencia del jet de capas bajas era detectado mediante la magnitud de viento meridional en 850 hPa y barbas de cortante viento 700/850 hPa, advirtiendo de un importante flujo o advección de humedad para la zona de interés, junto con elevados valores de humedad relativa en el mismo nivel. Otro indicio de las tormentas fuertes con intensas precipitaciones, era la presencia de importantes velocidades verticales en 700 hPa para ambos días, abarcando el horizonte de predicción T+24 y T+48. Cabe destacar que los mismos indicios de inestabilidad fueron identificados por el modelo WRF (4 km) en el evento de agosto, inicializado el 16/08/23 a las 00 UTC y resueltos oportunamente por el modelo GFS para ambos eventos, en particular los indicios encontrados por el índice termodinámico -adimensional- que diagnostica ambientes favorables para la convección; Índice Gálvez Davison Mejorado (EGDI) con una buena resolución de las áreas de fuerte inestabilidad.

Sensoramiento Remoto. A su vez, tales pautas de inestabilidad fueron congruentes con los elevados índices de inestabilidad y CAPE mostrados por el diagrama termodinámico tanto del 16/08 (18 UTC) como del 24/05 (06 UTC), ambos correspondientes al radiosondeo de la Estación Aeroparque, siendo los valores de esta última fecha los siguientes: CAPE: 569.0 J/kg / IS: -7.1 / TT: 57.9 / IK: 43.0 / SWEAT: 475.0 / AP: 42 mm y con detección del radar y satélite que muestran para la misma fecha y hora -aproximada-, importantes valores de reflectividad (entorno a 60 dBZ -blanco en la escala colorimétrica-) y temperatura (-80°C) de topes nubosos en su imagen infrarroja (ver figura 1). Antecedentes evento 1 y 2: la atmósfera se encontraba baroclínica e inestable, los principales indicios encontrados en la recopilación de información para el monitoreo en tiempo real (datos en BDMH, 2023)

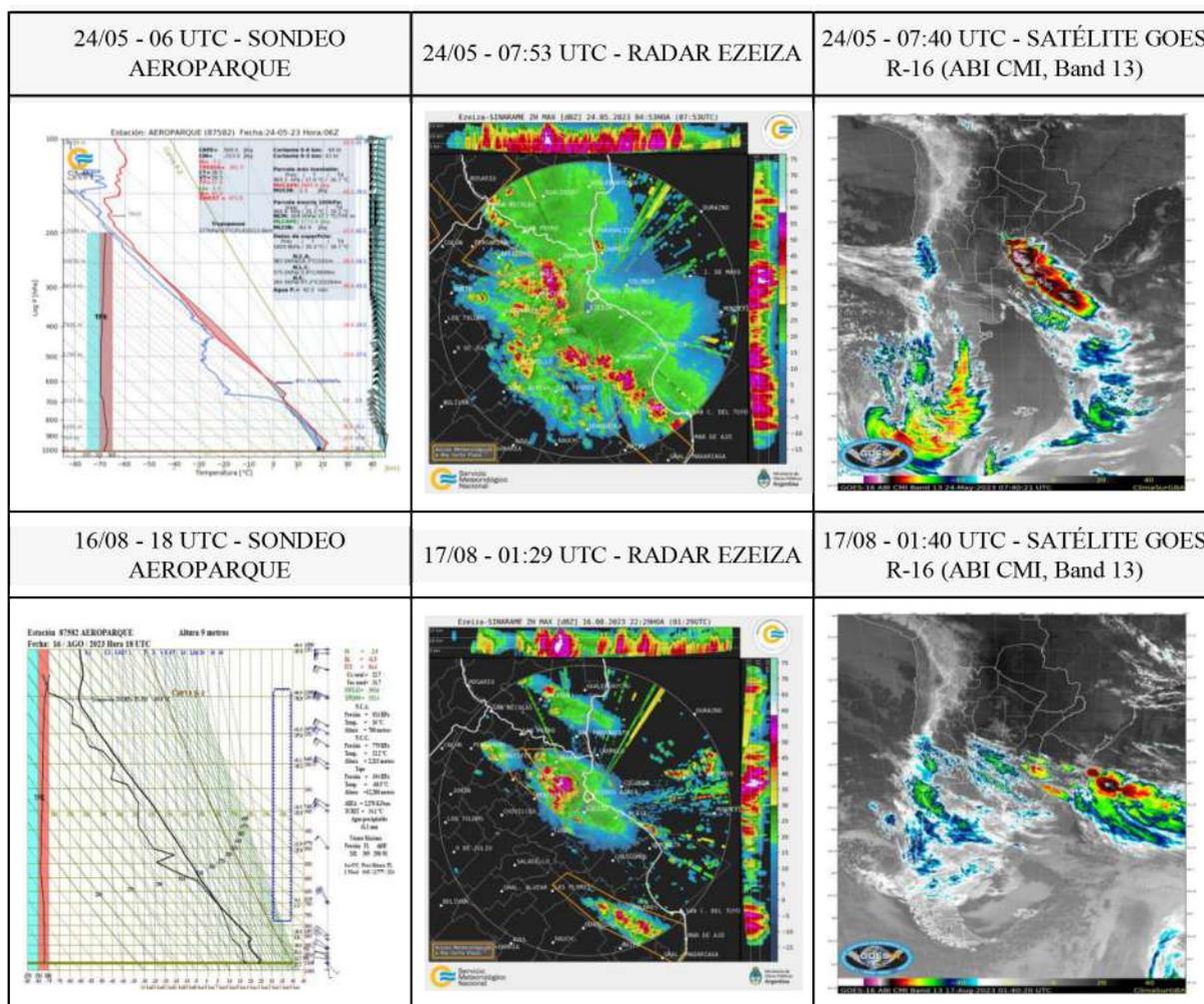


Figura 1 - Indicios de fuerte inestabilidad en áreas del Río de la Plata. Herramientas de sensoramiento remoto utilizadas para el monitoreo atmosférico. Fecha 24/05/23 -img. sup.-; 16 y 17/08/23 -img. inf.-.

Se ha demostrado que tanto la utilización de modelos numéricos de predicción en etapas de pronóstico, como la información recabada en el monitoreo atmosférico para determinar las condiciones iniciales y proyectarlas, resulta vital para el personal técnico operativo. Por su parte, los avances tecnológicos en cuanto al sensoramiento remoto, deben ir de la mano con el esfuerzo colaborativo entre instituciones -a nivel nacional e internacional-, para asegurar el adecuado proceso de actualización y generación de nuevos conocimientos en torno a la utilización de estas herramientas y aumentar así sus potencialidades. En este trabajo se demostró como el radiosondeo resulta imprescindible para determinar la inestabilidad de la parcela en el perfil vertical, otorgando datos muy específicos que se complementan (no sustituyen) con la información suministrada por otras formas de sensoramiento remoto (ej.; radar, satélite).

AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos a: Fiorela Bertone (SMN), José Galvez y Bonnie Acosta (NOAA), Jorge González (Director) y Daniel Moriso (Docente) del Liceo Téc. Los Pinos (Uy).

REFERENCIAS

Kuleshov, Y.; Kubota, T.; Tashima, T.; Xie, P.; Kurino, T.; Hechler, P.; Alexander, L.V. (2020). Proyecto de Demostración de la OMM sobre la Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos y Climáticos Extremos desde el Espacio para Asia Oriental y el Pacífico Occidental. OMM, Vol 69(1)-2020.

SIMULACIÓN DE PRECIPITACIÓN PARA EL CÁLCULO DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN LA CUENCA DEL RÍO NEGRO

Palabras clave:

RegCM, modelos climáticos regionales

Matilde Ungerovich¹

Ruben Chaer¹

mungerovich@adme.com.uy

¹Administración del Mercado Eléctrico (ADME).

1-INTRODUCCIÓN

El modelo RegCM (Giorgi, et.al., 2023) es un modelo climático regional cuyo mantenimiento está a cargo del Centro Internacional de Física Teórica (ICTP, <https://www.ictp.it/>). Los modelos regionales simulan las condiciones atmosféricas futuras (temperatura, precipitación, viento, etc) en una región relativamente pequeña del planeta (la región se elige en función del objetivo). Surgen como una manera de adaptar los modelos globales, que tienen requerimientos computacionales muy altos, a una región en particular. En otras palabras, los modelos climáticos globales pronostican las condiciones atmosféricas futuras en todo el planeta y por ende son pocos los institutos con la tecnología necesaria para correrlos. Estos modelos están preparados para generar el mejor resultado a escala global. Sin embargo, ese resultado no siempre es el óptimo en una región en particular. Esto se debe a que los modelos climáticos utilizan parametrizaciones para simplificar ciertas situaciones que ocurren en la atmósfera y no necesariamente se simplifican de la mejor manera utilizando los mismos parámetros. Por ejemplo, la mayoría de los modelos no tienen el tamaño de grilla suficiente como para resolver la física de las nubes y la solución es simplificar utilizando variables de mayor escala (parametrizar). En este caso, parametrizar implica utilizar relaciones simplificadas entre variables atmosféricas y considerar que ciertas combinaciones de variables tienen ciertos tipos de nubes asociados. Sin embargo, algunas parametrizaciones funcionan mejor en unas regiones y otras parametrizaciones funcionan mejor en otras zonas.

Los modelos climáticos regionales ofrecen la posibilidad de elegir parametrizaciones diferentes para cada región. Para simular las condiciones futuras, estos modelos requieren condiciones iniciales y condiciones de borde. Las condiciones iniciales son las características atmosféricas en la región de interés en el instante en que se inicializa el pronóstico, mientras que las condiciones de borde son los pronósticos de las condiciones atmosféricas en las regiones que el modelo no pronostica.

El primer paso para poner en funcionamiento un modelo es conocer la habilidad que tiene para simular. Esto se logra corriendo el modelo para un tiempo pasado (pronóstico retrospectivo) utilizando como condiciones iniciales y condiciones de borde los datos más cercanos a la realidad posible (en este trabajo utilizamos datos de reanálisis). Luego, calculando medidas estadísticas, se comparan los pronósticos retrospectivos con lo que realmente sucedió (en esta etapa se usan observaciones de estaciones meteorológicas o datos de reanálisis). El objetivo de esta etapa es conocer el mejor pronóstico que puede generar el modelo (ya que se considera que las condiciones de borde y las condiciones iniciales no tienen errores).

2- HIPÓTESIS

Los pronósticos generados por un modelo climático regional pueden ser de mejor calidad que los generados por un modelo climático global. Correr el modelo de Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SIMSEE, Chaer 2008) con mejores pronósticos atmosféricos podría generar pronósticos energéticos más realistas. Entonces, sería beneficioso correr el modelo SIMSEE utilizando los pronósticos atmosféricos del modelo RegCM5 como condiciones de borde. En esta etapa del proyecto se comparan los pronósticos de precipitación generados con RegCM5 en la cuenca del Río Negro utilizando condiciones de borde y condiciones iniciales de reanálisis con los pronósticos del modelo global GFS (Global Forecast System).

3- METODOLOGÍA

El período de estudio de todo el trabajo es 2018-2021. En algunas etapas los análisis se harán en escala trimestral de manera de tener una muestra más significativa de datos. Los trimestres a considerar son Diciembre-Enero-Febrero (DJF), Marzo-Abril-Mayo (MAM), Junio-Julio- Agosto- (JJA) y Setiembre-Octubre-Noviembre (SON).

Se corre el modelo RegCM5 con una grilla de 20 km en la horizontal y con 18 niveles en la vertical. Se usan condiciones iniciales y condiciones de borde (incluyendo temperatura de superficie del mar) de reanálisis ERA5 (Hersbach, H., 2016). Cada pronóstico se corre con antelación (lead) de 1 a 10 días. Se analizará el resultado del pronóstico de precipitación acumulada en 24 horas, por lo cual el primer día es el acumulado correspondiente a las lluvias desde que se inicializa el modelo hasta 24 horas después. El segundo (tercer) día abarca el período entre las 24 (48) y las 48 (72) horas posteriores a la inicialización. Es importante considerar que el primer día simulado quizá no tenga buena habilidad ya que el modelo no se ha estabilizado aún (en los trabajos científicos que hacen este tipo de corridas (Betolli et. al 2021, Ungerovich et. al 2023) se inicializan las corridas 24 horas antes del inicio de los eventos que se investiga).

El modelo regional se corre en una región un poco más grande que Uruguay (la misma zona que en Ungerovich et. al. 2023) de manera tal de considerar la estructura entera del evento de precipitación que puede incluir un frente o un sistema convectivo. Por otro lado, dentro de Uruguay se cuenta con datos observados en estaciones meteorológicas y pluviométricas con una resolución muy alta. En particular, se utilizará una corrección de los datos observados en la región de la cuenca del Río Negro para contrastar con el acumulado de precipitación simulado con el modelo. En conclusión la validación consiste en comparar el monto acumulado simulado en la cuenca del Río Negro con datos observados.

4- ALGUNOS RESULTADOS

En la figura 1 se puede ver el error cuadrático medio y la correlación de la simulación de precipitación en la cuenca del Río Negro para antelaciones temporales entre 1 y 10 días. Se destaca que tanto el error como la correlación de RegCM son casi independientes de la antelación temporal mientras que en GFS el error (la correlación) aumenta (disminuye) drásticamente con la antelación. Como consecuencia, para pocos días de antelación el modelo GFS simula mejor que el RegCM y la situación se invierte a partir de los 6 días.

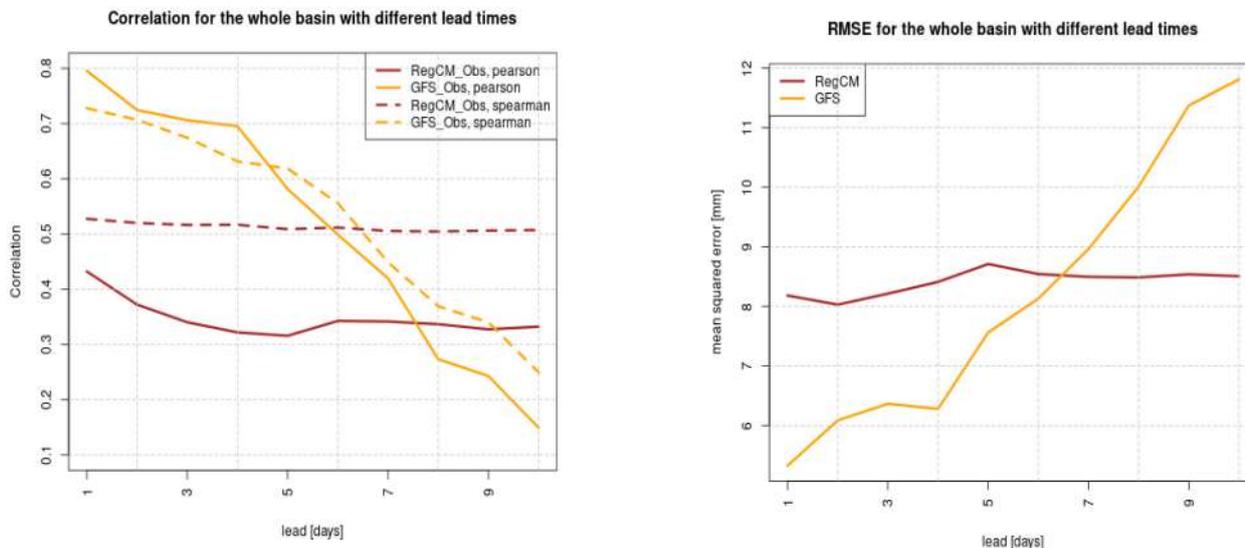


Figura 1: izquierda- correlaciones de pearson y spearman entre precipitación simulada y observada en la cuenca del Río Negro para RegCM y GFS en función de la antelación temporal del pronóstico; derecha- error cuadrático medio de RegCM y GFS en función de la antelación temporal del pronóstico.

Descargo de responsabilidad: El contenido de este artículo es entera responsabilidad de sus autores, y no necesariamente refleja la posición de las instituciones de las que forman parte.

CITAS Y REFERENCIAS

- Chaer, R. (2008). Simulación de sistemas de energía eléctrica.
- Giorgi, F., Coppola, E., Giuliani, G., Ciarlo, J. M., Pichelli, E., Nogherotto, R., ... & Drofa, O. (2023). The Fifth Generation Regional Climate Modeling System, RegCM5: Description and Illustrative Examples at Parameterized Convection and Convection-Permitting Resolutions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128(6), e2022JD038199.
- Hersbach, H. (2016, December). The ERA5 Atmospheric Reanalysis. In AGU fall meeting abstracts (Vol. 2016, pp. NG33D-01).
- Ungerovich, M., Barreiro, M., & Kalemkerian, J. (2023). Simulation of extreme rainfall events in Uruguay: Role of initialization and large scale dynamics. *Atmospheric Research*, 106842.

OBSERVACIONES DE OZONO ESTRATOFÉRICO REALIZADAS EN SALTO

Palabras clave:

Ozono estratosférico, Dobson

Sergio Arizcorreta¹

s.arizcorreta@inumet.gub.uy

¹Instituto Uruguayo de Meteorología

1- INTRODUCCIÓN

Esta presentación no tiene otra pretensión de compartir – transversalmente – las observaciones de ozono estratosférico que se realizan en la estación 343 de Salto, con el espectrofotómetro Dobson 134. Se trata entonces de ver como se distribuye esta variable, sobre la vertical de la estación, mostrando sus marcas de posición y sus límites mínimos y máximos, en el período 1 de enero 1997 al 31 de diciembre de 2012, retomándose durante el año 2019 al presente.

Si bien las mediciones comenzaron hacia el final del segundo semestre de 1996 en el Parque Harriague de Salto, ya en 1997 el instrumento se ubica en el actual emplazamiento junto a la estación meteorológica de Salto, en el Aeropuerto Internacional de "Nueva Hespérides".

2- OZONO

El ozono es una especie molecular formada por tres átomos de oxígeno. Es relativamente inestable y se encuentra en dos niveles de la atmósfera: la *estratosfera* que se extiende entre 10 y 50 km de altura y la *troposfera* entre 0 y 10 km de altura. Aunque forma sólo una pequeña parte de la atmósfera, el ozono estratosférico es crucial para la vida en la Tierra. El ozono estratosférico protege la superficie del planeta de la radiación electromagnética Ultravioleta-B (UV-B) emitida por el Sol. En cambio, el ozono de la troposfera es un peligroso contaminante del aire que respiramos, ya que daña al tejido pulmonar y también a las plantas.

Las cantidades de ozono atmosférico estratosférico y troposférico dependen del balance entre los procesos que crean ozono y aquellos que lo *destruyen*.

3- ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

Las observaciones de ozono total se efectúan con un espectrofotómetro Dobson midiendo las intensidades relativas de pares seleccionados de longitudes de onda ultravioleta, denominadas longitudes de onda A, B, C, C' y D, las cuales provienen del sol, la luna o la luz cenital. El par A, por ejemplo, consiste en una longitud de onda de 305,5 nanómetros (nm.) fuertemente absorbida por el ozono, mientras que la longitud de onda más intensa de 325,4 nm. permanece relativamente no afectada por el ozono. Fuera de la atmósfera de la tierra la intensidad relativa de estas dos longitudes de onda permanece esencialmente fija. Sin embargo, al atravesar la atmósfera y llegar al instrumento, ambas longitudes de onda pierden intensidad debido a la difusión de la luz provocada por las moléculas de aire y las partículas de polvo; además la longitud de onda de 305,5 nm. se encuentra fuertemente atenuada al pasar por la capa de ozono mientras que la atenuación de la longitud de 325,4 nm. es relativamente débil. Por lo tanto, la intensidad relativa del par de longitud de onda A vista por el instrumento varía con la cantidad de ozono presente en la atmósfera puesto que a medida que la cantidad de ozono aumenta, la intensidad observada de la longitud de onda 305,5 nm. disminuye, mientras la intensidad de la longitud de onda 325,4 nm. permanece prácticamente inalterada. De esta manera, midiendo las intensidades relativas de pares de longitudes de onda adecuadamente seleccionadas en el instrumento Dobson, es posible determinar cuánto ozono se encuentra presente en una columna de aire vertical que se extiende desde el nivel del suelo hasta la parte superior de la atmósfera en las cercanías del instrumento. El resultado se expresa en función del espesor de una temperatura y presión estándar.

4- ANÁLISIS DATOS

De acuerdo con la figura 1, las medidas de ozono realizadas con el Dobson 134, en la estación Salto se han distribuido en torno a un valor promedio anual de 273,4 UD (Unidades Dobson), un máximo promedio anual de 309,9 UD y un mínimo promedio de 246,8 UD, para el período comprendido entre el 1 de enero de 1997 al 31 de diciembre de 2022.

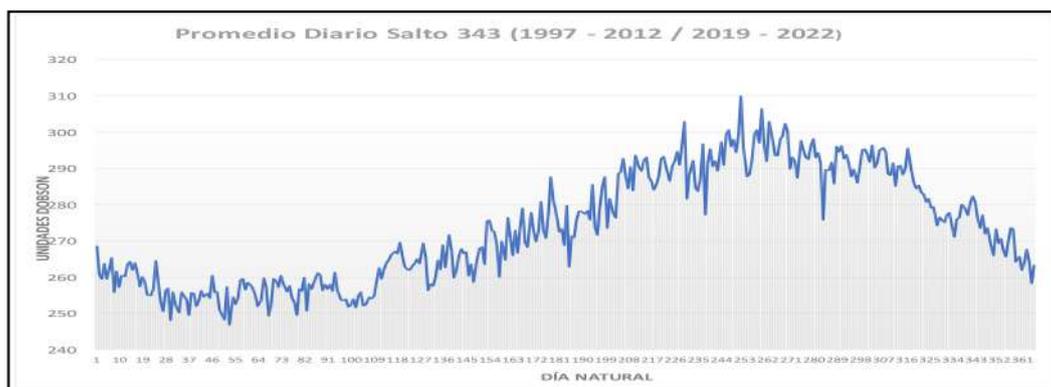


Figura 1. Promedios diarios de ozono para el período considerado, registrados en Salto.

Conforme con lo que se puede visualizar en la figura 1, la distribución anual del ozono en la estación Salto tienden a presentarse de la siguiente manera: los valores mínimos se agrupan partir del mes de febrero (día 32) extendiéndose durante los meses de marzo y abril. A partir del mes de mayo se inicia un proceso de ascenso en torno al valor anual (272 UD) que abarca también junio y julio. A mediados del mes de agosto, pero claramente durante setiembre y octubre es cuando se registran los valores máximos. Hacia la segunda quincena del mes de noviembre comienza a acercarse al valor anual que sigue durante el mes de diciembre y enero.

5- DATOS SATELITALES

Las medidas terrestres juegan un papel esencial, tanto para los estudios de tendencias en diversas regiones del mundo como también para verificar sobre el terreno las medidas de satélite.

La información satelital es recibida a los dos o tres días, del pasaje del satélite, ya que la misma es reprocesada e incluye datos sobre órbita del satélite, latitud y longitud central de la medida de ozono, distancia con respecto a Salto, ángulo solar, reflectividad, porcentaje de nubosidad, índice de aerosol y ozono.

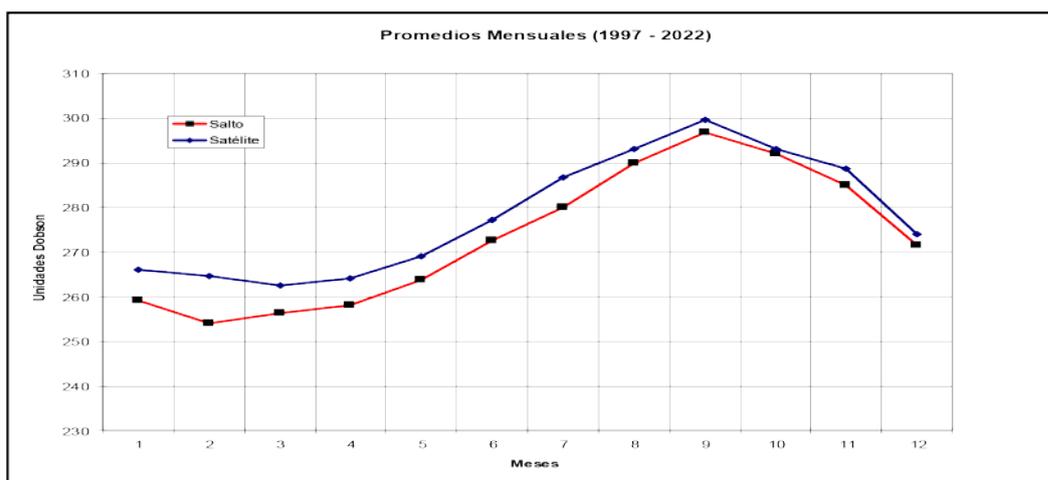


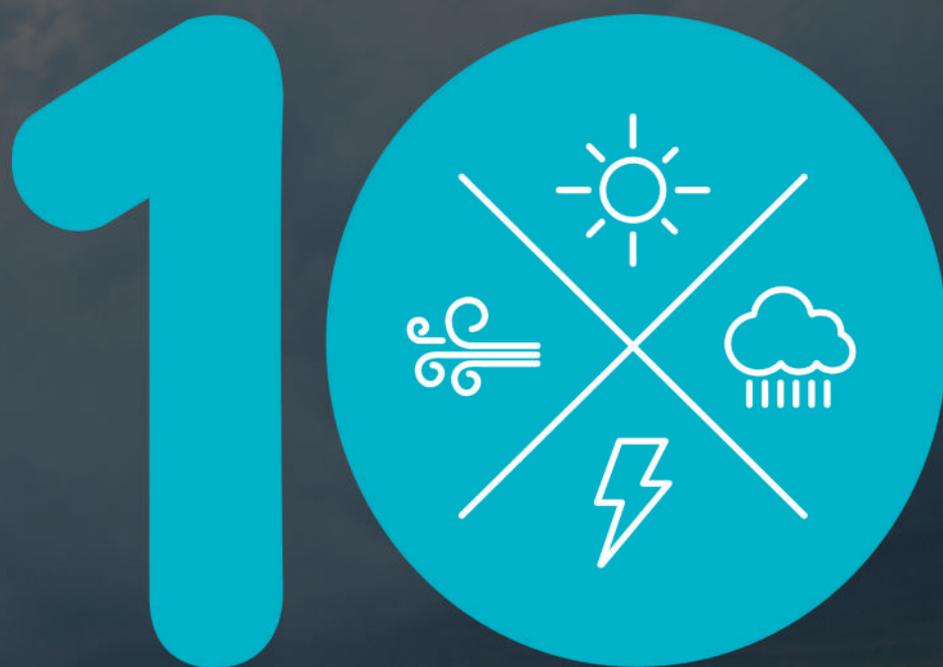
Figura 2. Promedios Mensuales con datos de la estación Salto (343) y datos satelitales.

Acorde con la figura 2, Por su parte las medidas satelitales para el mismo período referidas a Salto han tenido un valor promedio anual de 278,3 UD. El máximo promedio anual, marca 308,4 UD y un mínimo promedio anual de 258,8 UD.

Analizando las diferencias entre las medidas obtenidas en la estación Salto con el Dobson y las observaciones satelitales referidas a la vertical de Salto, anualizadas en promedio los datos terrestres presentan una diferencia de 5 unidades Dobson, lo que significa una diferencia con el satélite en el entorno del dos por ciento. Como se visualiza en la figura 2.

REFERENCIAS

- MANUAL DE OPERACIONES OBSERVACIONES DE OZONO CON UN ESPECTROFOTOMETRO DE DOBSON Por W. D. Komyr Preparado para el Proyecto de Monitoreo e Investigación del Ozono Global de la Organización Meteorológica Mundial junio 1980 Revisado Septiembre 2006 Roberto D. Evans División de Monitoreo Global NOAA/ESRL
- Datos Satelitales para Salto: https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Aura/OMI/V03/L2OVP/OMDOAO3/aura_omi_l2ovp_omdoao3_v03_salto_343.txt
- El Centro de datos de validación de aura (AVDC) es un archivo centralizado a largo plazo para datos de validación alojado por la Subdivisión de Dinámica y Química Atmosférica del Centro de Vuelo Espacial Goddard (GSFC) de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) en Greenbelt, Maryland. La misión del AVDC es apoyar las actividades científicas y de validación del Sistema de Observación de la Tierra (EOS)-Aura, y las futuras actividades de validación de los satélites de Ciencias de la Tierra "A-Train".



Aniversario
inumet

**ANTICIPARSE AL TIEMPO
ES NUESTRO COMPROMISO**





Reconstrucción del tornado de Carmelo, Colonia.
21 de noviembre de 1985.

ARESUR
(Agrupación de Radiocomunicaciones de emergencias, socorristas urbanos y rescate)
Expositor: Fernando Torenza
Técnico Meteorólogo

25 de octubre de 2023- 2da Jornada - Inumet.

13er Congreso Mexicano de Meteorología, 2008
16 al 17 de noviembre del 2008, Monterrey, Nuevo León, México.



MOTIONSOFT
CONSULTING

SOLUCIONES DE SOFTWARE PARA METEOROLOGÍA

contacto@motionsoft.com.uy | www.motionsoft.com.uy

011
01 0 1 00 011 0101 1010 110 00 1 0 10 11
11 01 0 1
00 011 0101 1010 110 00 1 0 10 11

VAISALA

The future of weather
radar design is here

and it's
SOLID.



vaisala.com/weather-radars