

Taller: Introducción al uso de SHARPPy para evaluar parámetros termodinámicos y cinemáticos de tormentas severas.

Roberto Rondanelli

Introducción

SHARPPy (Blumberg et al, 2017) es una herramienta de visualización y análisis de sondeos atmosféricos que fue diseñada pensando en el análisis de tormentas severas y tornádicas. Permite analizar sondeos atmosféricos observados, así como introducir sondeos desde modelos globales y regionales. La principal ventaja de SHARPPy sobre otros programas similares es que las rutinas de cálculo de los parámetros atmosféricos son de código libre y están ampliamente documentadas y probadas por pronosticadores e investigadores de tormentas severas.

Lo primero es instalar el programa en sus computadores. La instalación es simple si se trata de alguno de los sistemas operativos que tienen una instalación binaria precompilada para MacOS y Windows 10

<https://sharppy.readthedocs.io/en/andover/install.html>

También es posible hacer una instalación de SHARPPy compilando el código fuente en un ambiente python. Esto puede arrojar errores que no sea posible corregir en el tiempo del taller, aunque es posible instarlo siguiendo las instrucciones de instalación que se encuentran descritas en <https://github.com/sharppy/SHARPPy/blob/master/README.md>

Descripción General

SkewT-logp

La interfaz gráfica del programa presenta la información de un sondeo de manera sintética y permite apreciar distintos parámetros y cálculos en base al sondeo. Consta de varios paneles. En el primer panel se observa un diagrama SkewT-log p (Fig. 1) del sondeo con los valores de temperatura (rojo sólido), temperatura virtual (rojo segmentado), temperatura de bulbo húmedo cyan y temperatura de punto de rocío (verde), las barbas de viento en la vertical y la velocidad del viento en barras. También es posible identificar algunos de los parámetros del sondeo de forma gráfica, por ejemplo el nivel de condensación por ascenso LCL, el nivel de congelamiento, así como el nivel de equilibrio (EL) en el caso de un sondeo

con CAPE positivo. Es posible elegir con el mouse desde el panel que está inmediatamente abajo del sondeo cuatro distintos tipos de sondeo atmosférico (Fig. 2)

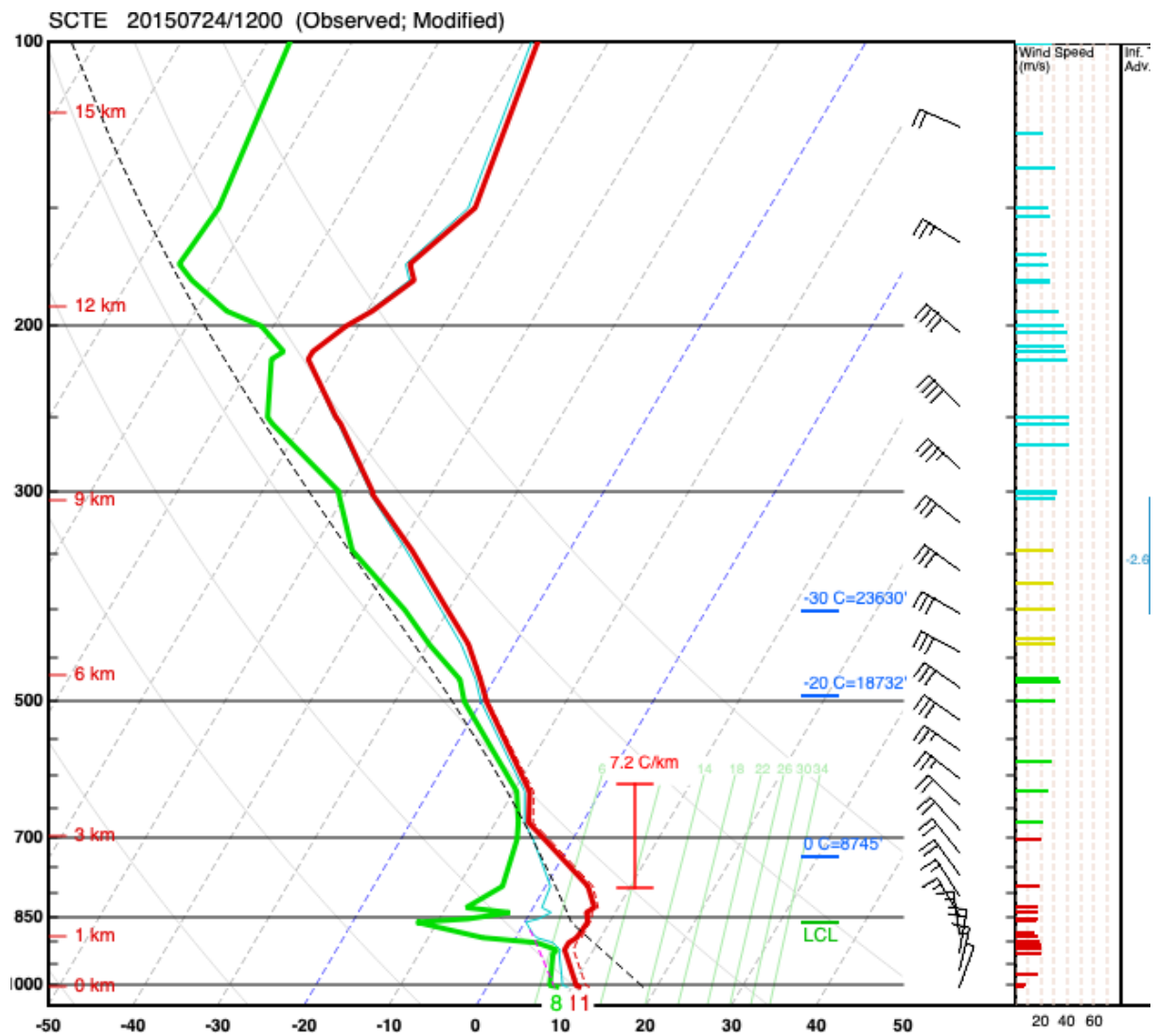


Fig. 1 Diagrama Skew-T

PCL	CAPE	CINH	LCL	LI	LFC	EL
SFC	0	0	341	8	--	341
ML	0	0	774	7	--	774
FCST	0	0	1301	4	--	1301
MU	0	0	3348	3	--	3348
PW = 1.9cm K = 17 WNDG = 0.0 MeanW = 6.2g/kg TT = 39 TEI = 14 LowRH = 86% ConvT = 25C 3CAPE = 0 MidRH = 59% maxT = 17C MBURST = 0 DCAPE = 134 ESP = 0 DownT = 8C MMP = 0.0 SigSvr = 0 m3/s3						
Sfc-3km AGL LR = 5.1 C/km 3-6km AGL LR = 6.2 C/km 850-500mb LR = 6.5 C/km 700-500mb LR = 6.4 C/km				Supercell = 0.0 STP (cin) = 0.0 STP (fix) = -0.0 SHIP = 0.0		

Fig. 2 Panel de parámetros principales del sondeo

Los tipos de sondeo son cuatro y la temperatura virtual de cada uno se representa con una línea segmentada negra en el diagrama Skew-T logp.

SFC. Calcula los parámetros termodinámicos del sondeo usando la temperatura y humedad superficiales.

ML. Usa los valores de una capa que corresponde con la mezcla de los primeros 100 hPa desde la superficie.

FCST. Calculada a partir de la humedad promedio de los primeros 100 hPa (meanW) y de una mezcla superadiabática de temperatura entre 850 y la superficie. (maxT)

MU. Calculada a partir de los valores de temperatura y humedad de la parcela más inestable del sondeo entre la superficie y los 400 hPa.

Es posible identificar una serie de parámetros del sondeo en la Fig.2 cuyo significado se encuentra descrito en la Tabla 2 del artículo de Blumberg et al (2017). Acá repetimos algunos de los parámetros termodinámicos allí descritos:

PW: Agua precipitable en cm

DCAPE: Energía Potencial Convectiva Disponible (CAPE) de la corriente descendente, definida como la capa con la menor temperatura potencial equivalente entre la superficie y 400 hPa.

3CAPE: CAPE de los primeros 3 km desde la superficie usando los valores de la capa mezclada en los primeros 100 hPa.

lowRH: Humedad relativa en los primeros 150 hPa sobre la superficie.

ConvT: Parcela cuya temperatura superficial es la más baja necesaria para producir una inhibición convectiva menor a 5 J kg⁻¹.

En el mismo cuadro es posible identificar distintos valores de la tasa de caída de la temperatura (lapse rate, LR) en distintas capas del sondeo, muchas de estas capas han

sido identificadas como relevantes para diagnosticar la fuente de la inestabilidad en tormentas severas y algunos de estos valores participan en el cálculo de otros parámetros.

Hodógrafa

El panel superior de la izquierda muestra un gráfico llamado “hodógrafa” (Fig. 3). La hodógrafa es un gráfico que representa con una línea la punta del vector viento graficado desde el origen y se dibujan todos los vientos del sondeo en este gráfico polar. La idea detrás de la hodógrafa es tener una representación gráfica muy simple del cizalle o la cortante en la vertical. Esto se consigue pues una hodógrafa de un viento constante en altura sería simplemente un punto, mientras que la hodógrafa de un viento cuya dirección no cambia pero si su magnitud sería una recta saliendo radialmente desde el origen. En particular el sondeo que se muestra en la Figura 3 tiene un importante valor del cizalle en los primeros 3 km que corresponde en este caso a un vector que se dibuja desde la punta del viento en superficie hasta la punta del viento en altura.

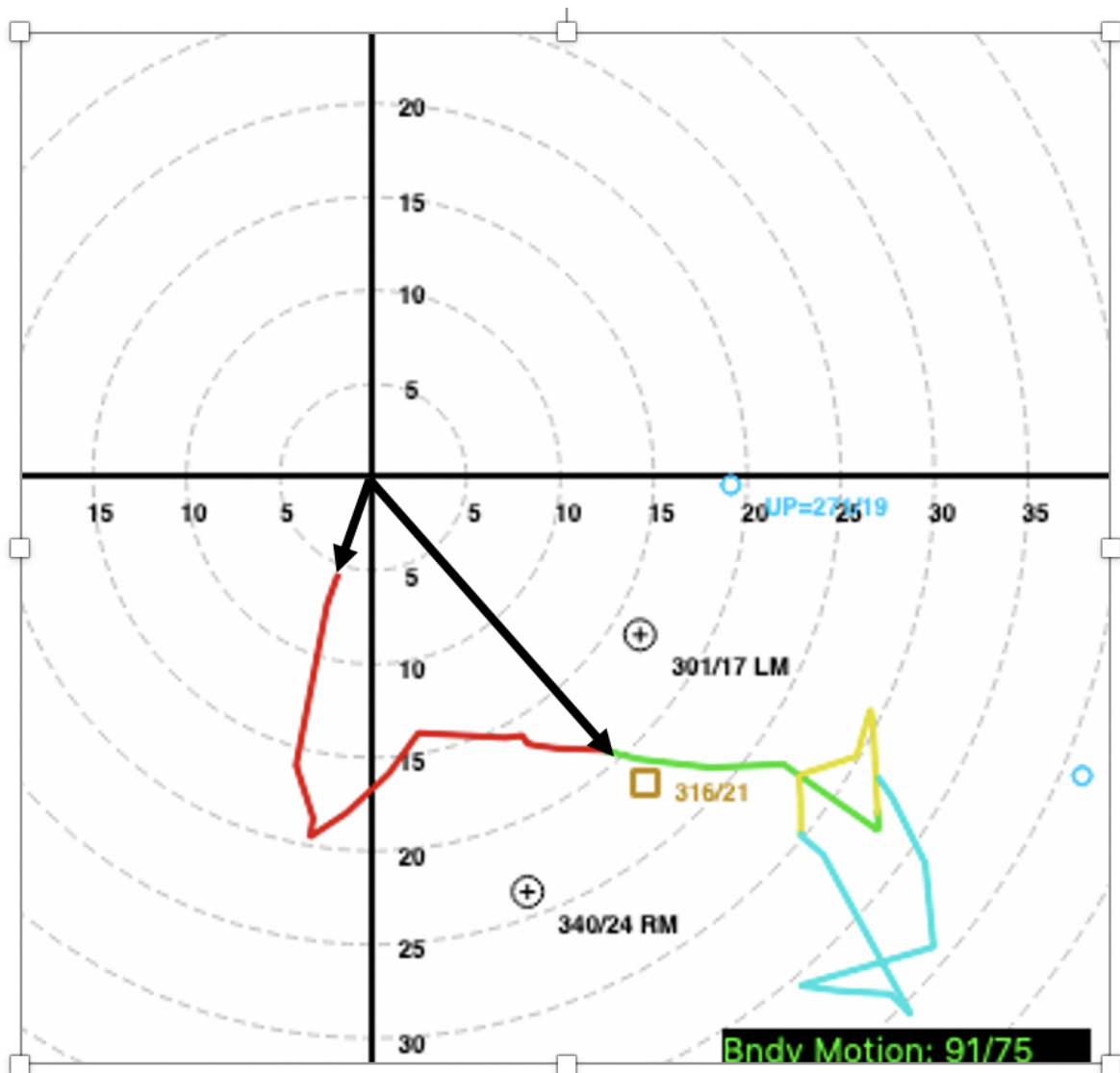


Fig. 3 Hodógrafa mostrando en negro el viento superficial y el viento a 3km de altura. Superficie y 3 km (rojo), 3km y 6km (verde), 6 km y 9km (amarillo) sobre los 9 km (cyan).

Otro de los parámetros más relevantes y que está calculado a partir de los datos de viento del perfil, es la velocidad de movimiento de una tormenta supercelular, en su versión de movimiento a la izquierda (LM, left movers por sus siglas en Inglés) y el movimiento a la derecha (RM, right movers). Izquierda y derecha se refieren a los movimientos de la tormenta relativos al viento promedio en la troposfera media. Tormentas supercelulares que se forman en un ambiente de alto cizalle, favorecen la formación de tormentas que se mueven a la derecha en el hemisferio Norte y a la izquierda en el hemisferio Sur. Los valores del movimiento de cada celda se representan por un círculo con cruz negra al centro e indicando la dirección y la velocidad del viento. En el caso ejemplificado en la figura 3, el valor estimado del movimiento de la tormenta hacia la izquierda (relevante para el hemisferio sur) es de 17 m/s en la dirección de 301° que equivale a un viento del NorOeste.

La relevancia del movimiento de la tormenta tiene relación con una de las variables más importantes para determinar el potencial tornadogénico de las tormentas supercelulares: la

helicidad relativa a la tormenta (SRH, Storm Relative Helicity). La SRH indica la capacidad de una tormenta supercelular de transformar el cizalle vertical (y por lo tanto la vorticidad horizontal) en vorticidad vertical a través del ascenso al interior de la tormenta. El valor de la SRH también puede ser inferido a partir de la hodógrafa gráficamente como se muestra en la Fig.4

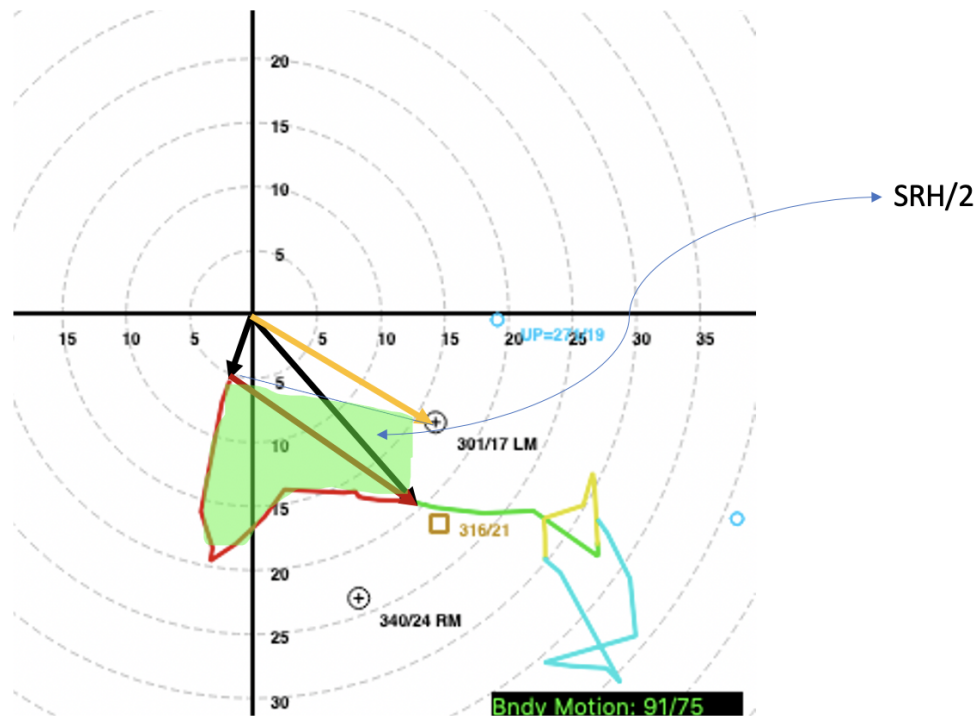


Fig. 4 Hodógrafa mostrando el vector de movimiento de la tormenta a la izquierda en naranja y una estimación gráfica del valor de la Helicidad Relativa a la tormenta (SRH) como el área encerrada por los vectores de viento superficial, viento en 3 km y el vector de viento relativo.

En particular, una opción muy interesante que ofrece SHARPPy es la posibilidad de modificar el valor de la velocidad de la tormenta usando el mouse sobre el panel de la hodógrafa. La velocidad de la tormenta es calculada por el programa a partir de los datos de radiosondeo, pero es posible observar directamente desde imágenes satelitales en el caso de un evento real. Esto permite recalcular los parámetros de la tormenta en base a la información en tiempo real.

Parámetros Compuestos

Existe una serie de parámetros compuestos descritos en la literatura de tormentas tornádicas, que son capaces de discriminar entre tormentas supercelulares y tormentas no supercelulares e inclusive entre tormentas tornadogénicas y no tornadogénicas. Estos

parámetros han sido calibrados usualmente con bases de datos que contienen miles de tornados registrados sobre el territorio de EEUU (ver las referencias en Blumberg et al, 2017). Estos parámetros por ejemplo mezclan el CAPE y el Cizalle de manera de entregar valores umbrales de los distintos tipos de tormentas. Es importante precisar que aun cuando estos valores han sido obtenidos desde una gran cantidad de tormentas, se trata de valores referenciales, y que dada la relativa inexperiencia de calcularlos en Chile, debemos tratar con escepticismo.

La distribución de uno de estos parámetros es desplegada en uno de los cuadros de la interfaz gráfica de SHARPPy como se muestra en la figura

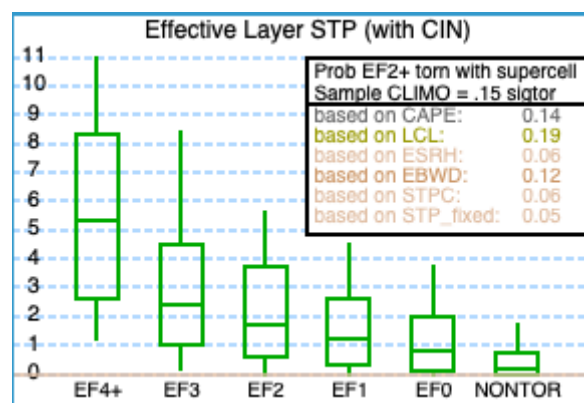


Fig. 5 Panel con el valor del parámetro compuesto “Effective Layer STP” y su distribución observada para ambientes con tornados de distinta intensidad.

En este caso se trata de la distribución del parámetro de tornados de la capa efectiva (effective layer significant tornado parameter)

Para ejemplificar el desarrollo de este tipo de índices, mostraremos cómo se construye El “Effective Layer significant tornado parameter” STP(cin)

se define de la siguiente forma:

$$STP = (mLCAPE/1500 \text{ J kg}^{-1}) * ((2000 - mLCL)/1000 \text{ m}) * (ESRH/150 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}) * (EBWD/20 \text{ m s}^{-1}) * ((200 + mL CIN)/150 \text{ J kg}^{-1})$$

El término mLCL (Nivel de condensación por ascenso de la capa de los primeros 100 hPa) se setea a 1.0 cuando mLCL < 1000 m, y a 0.0 cuando mLCL > 2000 m; el término mL CIN (Inhibición convectiva de los primeros 100 hPa) se setea a 1.0 cuando mL CIN > -50 J kg⁻¹, y a 0.0 cuando mL CIN < -200; el término EBWD tiene un valor máximo de 1.5 para EBWD > 30 m s⁻¹, y se vuelve 0.0 cuando EBWD < 12.5 m s⁻¹. Por último, cuando la base del flujo efectivo está por sobre la superficie, el índice completo se vuelve cero. La mayor parte de los tornados en EEUU están asociados a valores de STP mayores a 1 mientras que la mayor parte de las tormentas supercelulares no tornádicas están asociadas a valores de STP menores a 1. (Thompson et al, 2012)

Cargando un sondeo real

Al abrir la interfaz gráfica de SHARPPy es posible cargar sondeos reales para algunas de las estaciones de radiosondeo en el mundo. En particular podemos intentar cargar el sondeo del día 24 de Julio de 2015 a las 12 UTC para la estación de Puerto Montt en Chile (este es el sondeo que hemos venido usando en los ejemplos). Esto se hace seleccionando desde el panel de “Select Sounding Source” Observed y buscando la fecha 24 de Julio 2015 en el calendario. (Fig 6)

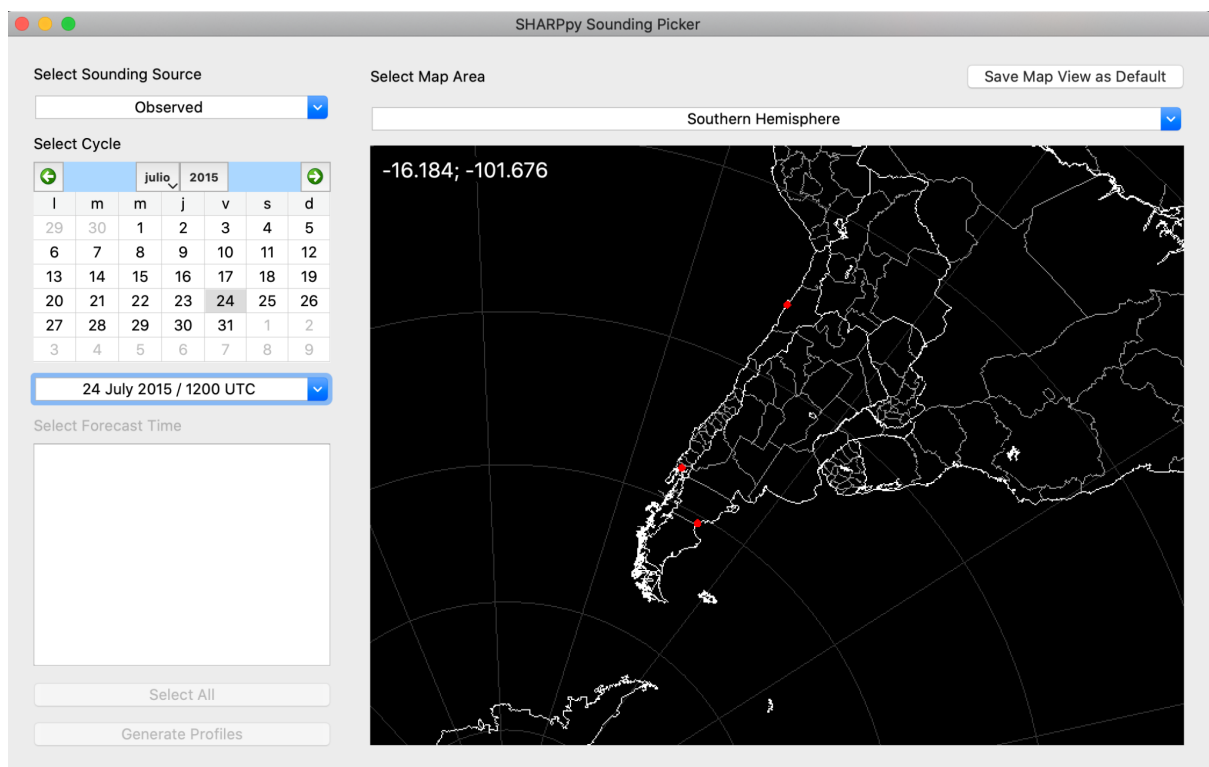


Fig. 6 Cargando un sondeo observado desde SHARPPy.

Una vez que la fecha es seleccionada, aparecerán marcadas con rojo los puntos con sondeos disponibles para esa fecha y hora. Al hacer click sobre Puerto Montt el punto cambiará de color a verde, y se desbloqueará la opción “Generate Profiles”. Al hacer click sobre “Generate Profiles” se abrirá la interfaz gráfica mostrando los paneles que hemos discutido en las secciones anteriores

Sondeo de referencia

Una de las posibilidades de SHARPPy es cargar cualquier sondeo siempre y cuando se cumpla con un cierto formato del archivo de texto a cargar. En este caso el archivo AMDAR_Talcahuano2.txt contiene un sondeo híbrido en que se usaron datos de AMDAR de

viento y temperatura, con la humedad de una salida de WRF para diagnosticar el ambiente previo al tornado de Talcahuano-Concepción del día 31 de Mayo de 2019

El archivo tiene la siguiente estructura

MEM = DETERMINISTIC
TIME = 190531/1344
STID = ABR SLAT = 45.45 SLON = -98.42 MALT = -999

PRES, HGHT, TEMP, DEWP, UWIN, VWIN, OMGA
1012.2,20,11.9,11.093,-8.164,-19.152,0
1001.6,120,11.9,11.415,-9.7079,-31.248,0
990.97,220,11.863,11.627,-11.813,-37.732,0
980.44,320,10.977,10.782,-14.574,-39.944,0
969.98,420,10.127,9.8764,-14.346,-42.348,0

El archivo posee un “header” de 3 columnas y luego las variables Presión (PRES), Altura (HGHT), Temperatura (TEMP), Punto de Rocío (DEWP), viento zonal (UWIN) y viento meridional (VWIN), velocidad omega (OMGA). En este caso la velocidad omega fue seteada a cero. Existen otros posibles formatos de entrada para sondeos ingresados por un usuario, sin embargo esta combinación de prueba y error es la que logró cargar los datos del sondeo AMDAR y la que será utilizada como archivo de referencia.

El sondeo de referencia en este caso se carga simplemente haciendo Open en la pantalla de inicio de la interfaz gráfica.

Actividad.

De acuerdo a la numeración de su sala, elija uno de los siguientes casos de estudio desde los sondeos observados:

1. 17 de Agosto de 2016 (tornado en Toltén (Araucanía) y tromba sobre el océano en Curiñanco (Los Lagos)).
2. 7 de Junio de 2011 (trombas en Hualaihue (Los Lagos) y Valdivia (Los Ríos))
3. 3 de Mayo de 2020 (tromba en las cercanías de Puerto Montt)

y compare estos sondeos con el sondeo AMDAR del día 31 de Mayo de 2019 a las 13:44 UTC. Este sondeo proviene de datos AMDAR de viento y temperatura combinados con la humedad atmosférica de una simulación de WRF como se explica en el artículo de Veloso et al (2021).

Preguntas de discusión. En el trabajo en las salas se les pedirá que comparen el valor del sondeo de Talcahuano (sondeo de referencia) con sondeos de Puerto Montt correspondientes con alguno de los casos disponibles y discuta con los integrantes de su sala respecto de las preguntas sobre ese sondeo usando la herramienta SHARPPy.

1. Comente respecto de los parámetros de inestabilidad del sondeo. ¿Es el sondeo inestable respecto a parcelas que ascienden desde la superficie? ¿Dónde se ubica la parcela más inestable del sondeo? ¿Cuáles son los valores de la tasa de caída de temperatura con la altura cerca de la superficie? ¿Cómo se comparan los valores de inestabilidad con el caso de referencia de Talcahuano del día 31 de Mayo de 2019?
2. El sondeo es tomado usualmente a las 12 UTC. Muchas veces el calentamiento diurno de la superficie puede ayudar a desestabilizar el sondeo durante el día como fue el caso de los tornados del día 30 de Mayo de 2019. Calcule nuevos valores de CAPE para el sondeo si la temperatura de la superficie aumenta 1° C y 2° C manteniendo la humedad relativa ¿Qué tan sensible es el valor de CAPE a aumentos de la temperatura superficial?
3. Respecto de la hodógrafa, identifique el valor del cizalle del viento y su dirección en las capas entre la superficie y un km, la superficie y 3km. Identifique el área que corresponde con los valores de la helicidad relativa a la tormenta entre la superficie y 1 km y la superficie y los 3 km. ¿Cómo se compara la SRH en su caso con el valor de la SRH en el sondeo de referencia? ¿Qué proporción de la SRH entre 0 y 3km ocurre en el primer kilómetro de altura?
4. Observe el valor del parámetro STP(cin) e intente justificar el valor arrojado por SHARPPy. Estime el valor de STP(cin) para ambos sondeos (el de referencia y el caso de estudio) usando el sondeo MU en vez del ML. Discuta sobre la posibilidad de tormentas tornádicas en base a estos valores estimados de STP(cin) para ambos casos. ¿Cuál es el factor limitante?

Referencias

Blumberg, W. G., Halbert, K. T., Supinie, T. A., Marsh, P. T., Thompson, R. L., & Hart, J. A. (2017). SHARPPy: An Open-Source Sounding Analysis Toolkit for the Atmospheric Sciences, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(8), 1625-1636. Retrieved Oct 23, 2021, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/98/8/bams-d-15-00309.1.xml>

Thompson, R. L., Smith, B. T., Grams, J. S., Dean, A. R., & Broyles, C. (2012). Convective Modes for Significant Severe Thunderstorms in the Contiguous United States. Part II: Supercell and QLCS Tornado Environments, *Weather and Forecasting*, 27(5), 1136-1154. Retrieved Oct 24, 2021, from https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/27/5/waf-d-11-00116_1.xml

Vicencio, J., Rondanelli, R., Campos, D., Valenzuela, R., Garreaud, R., Reyes, A., Padilla, R., Abarca, R., Barahona, C., Delgado, R., & Nicora, G. (2021). The Chilean Tornado Outbreak of May 2019: Synoptic, Mesoscale, and Historical Contexts, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102(3), E611-E634. Retrieved Oct 23, 2021, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/102/3/BAMS-D-19-0218.1.xml>