

# Informe Entregables Proyecto AlertAr

---

Grupo II/2018-2

**Entregable 2.4: SISTEMA CORRECCIÓN DE PhiDP y KDP.**

## Integrantes:

- Romina Nair Mezher - INTA

## Contenido

<b>Resumen</b>	3
<b>Abstract</b>	3
<b>Detalle del Informe</b>	4
1.	4
2.	5
3.	5
4.	6
5.	8
6.	9

Resumen	Abstract
<p>El Diferencial de Cambio de Fase (<math>\Phi_{DP}</math>) es una de las variables que se obtiene entre las componentes polarizadas en un radar meteorológico. Es de significativa importancia que se realice una corrección a la misma ya que su variable derivada, el diferencial de cambio de fase específico (KDP), se puede utilizar para la estimación cuantitativa de precipitación dado que es un buen indicador del agua líquida dentro de un volumen de medición. En este informe se muestra que con herramientas de software libre se puede corregir el <math>\Phi_{DP}</math> y calcular el KDP de forma simple utilizando técnicas descritas en la bibliografía, las que fueron adaptadas a los datos obtenidos por los radares de Anguil y Paraná durante el periodo 2009-2011.</p>	<p>Differential Phase Shift (<math>\Phi_{DP}</math>) is one of the variables obtained between polarized components of weather radar. it is very important that it be corrected since its derivative variable, the specific differential phase shift (KDP), can be used in the estimation of precipitation since it is a good indicator of liquid water within a volume measurement. This report shows that with free software tools, the <math>\Phi_{DP}</math> can be corrected and the KDP can be calculated using simple techniques described in the bibliography, adapting them to the data obtained from the Anguil and Paraná radars during the 2009-2011 period.</p>

## Detalle del Informe

### 1. Introducción

Los radares convencionales transmiten pulsos de energía en forma de ondas electromagnéticas e interpretan la señal que retorna luego de rebotar contra un eco meteorológico. Esta energía se propaga oscilando en el plano horizontal paralelo al suelo por ende se dice que las ondas son polarizadas en la horizontal. Los radares de doble polarización transmiten tanto en la polarización horizontal como en la vertical en forma simultánea (Bringi y Chandrasekar 2001).

El Diferencial de Cambio de Fase (en adelante  $\Phi_{DP}$ ) es una variable que se obtiene a partir de las componentes polarizadas. Cuando la energía electromagnética se propaga a través de la precipitación se genera una diferencia en la fase en comparación con la propagación de la onda a través del aire. Si la precipitación no es esférica (como sucede en caso de lluvias estratiformes), en general las gotas grandes tienden a adquirir una forma achatada en sus extremos por encima y por debajo, y en consecuencia se produce un cambio entre la polarización vertical (V) y la polarización horizontal (H), o sea, H se retrasa con respecto a V porque encuentra mayor cantidad de gotas (Kumjian 2013). La diferencia en el cambio de fase entre la onda H y la onda V es lo que se denomina  $\Phi_{DP}$ .

Como el  $\Phi_{DP}$  resulta proporcional a la concentración de partículas, tiende a aumentar cuando aumenta el tamaño de la partícula.

Usualmente se utiliza la derivada en el rango (es decir, a lo largo de un radial) del  $\Phi_{DP}$ , que se denomina Diferencial de Cambio de Fase Específico (en adelante KDP). Esta variable se mide en unidades de distancia (grados por kilómetro generalmente) en la dirección radial y puede ser un buen indicador de agua líquida y buen estimador de precipitación dentro del camino de propagación de la señal del radar (Zrnich y Ryzkov 1999).

El objetivo que se planteó para este entregable fue la corrección de la variable  $\Phi_{DP}$  y la obtención de la variable KDP en los radares de Argentina mediante algoritmos programados en software libre. Esta corrección es necesaria dado que la variable  $\Phi_{DP}$  por definición es una variable monótona creciente en situaciones de precipitación y constante en casos de ausencia de hidrometeoros. Las observaciones no presentan estas características debido principalmente a la presencia de ecos no meteorológicos, granizo, como así también errores intrínsecos del procesamiento de la señal.

## 2. Datos

Para la corrección de la variable  $\Phi_{DP}$  posterior obtención de la variable KDP, se utilizaron datos de Reflectividad (Zh), Reflectividad Diferencial (Zdr), Coeficiente de Correlación (CC) y Diferencial de cambio de fase ( $\Phi_{DP}$ ) de los radares polarimétricos ubicados en INTA-Paraná e INTA-Anguil para el periodo comprendido entre 2009 y 2011. Se utilizaron datos medidos hasta el rango de 240 km desde el centro del radar con una resolución por "bin"<sup>1</sup> de 500 metros en cada haz y 1° entre cada radial (360 radiales). Se utilizaron las 10 elevaciones de antena (PPI) que se detallan a continuación: 0.5°, 1.3°, 2.3°, 3.5°, 5.0°, 6.9°, 9.1°, 11.8°, 15.1° y 19.2°.

Para el procesamiento de la información se utilizó la herramienta en lenguaje de programación Python Py-AART, la cual es un paquete para leer, visualizar y corregir datos de radares meteorológicos desarrollado por el Centro de Investigación para las Mediciones Climáticas de Radiación Atmosférica ARM (Helmus y Collis 2016).

<sup>1</sup>Se denomina *bins* la caja se origina por la resolución en el haz de medición. La misma es de 1° por 500 metros en este caso.

## 3. Metodología

Para la lectura de los datos de radar se utilizó el lenguaje de programación Python, lo cual hace que los procedimientos realizados sean fácilmente intercambiables en cualquier sistema. La librería Py-ART fue la usada para leer los datos de cada volumen de radar y realizar algunos procesos. La corrección del  $\Phi_{DP}$  se realiza en tres etapas.

La primera tiene que ver con el "folding" que se produce en el  $\Phi_{DP}$ . La palabra "folding" está relacionada con palabra "pliegue" y se produce debido a los valores que toma la variable y la escala utilizada. El  $\Phi_{DP}$  se mide en el rango de 0 a 360 grados. Como se mencionó en la introducción cuando la onda emitida por el radar viaja a través del medio con precipitación el  $\Phi_{DP}$  tiende a aumentar. Si el valor de  $\Phi_{DP}$  inicial (con el que sale del radar, comúnmente denominado " $\Phi_{DP}$  del sistema") es elevado o en el caso de registrarse partículas grandes (concentración de gotas grandes o granizo) el  $\Phi_{DP}$  supera el valor de 360°, sufre un "pliegue" o "salto" y el  $\Phi_{DP}$  toma el valor 0° para luego seguir creciendo.

Para corregir esto se busca cuando la diferencia entre dos *bins* consecutivos en cada haz supera cierto umbral. Si esta condición se cumple, al valor de  $\Phi_{DP}$  se le suma 360° y de este modo se obtiene una variable que comienza en el valor 0° y va creciendo dependiendo del tipo de precipitación que se haya en el medio, la cual se ha observado en casos extremos de fuerte atenuación que puede alcanzar los 500 grados.

Luego se utiliza un filtro para suavizar el  $\Phi_{DP}$  en cada haz que utiliza un promedio móvil de 5 puntos. Esto se realiza porque originalmente es una variable que posee mucho ruido.

Por último el  $\Phi_{DP}$  tiene asociado un valor intrínseco para cada elevación, que altera la medición que se lo denomina  $\Phi_{DP}$  del sistema ( $\Phi_{DPSIS}$ ). Es posible calcular el  $\Phi_{DPSIS}$  utilizando los datos de  $\Phi_{DP}$  suavizado mediante un filtro de promedios móviles con una ventana *Hanning* de 9 puntos de los primeros 25 *bin* válidos para cada haz. Se denominan datos válidos cuando los mismos superan un umbral de 0.6 de CC. Una vez obtenido el  $\Phi_{DPSIS}$  se lo resta al  $\Phi_{DP}$  original. Otra forma en la cual se puede obtener el  $\Phi_{DPSIS}$  es obteniendo el valor medio de  $\Phi_{DP}$  para todos los haces y bins y se lo resta al  $\Phi_{DP}$  original.

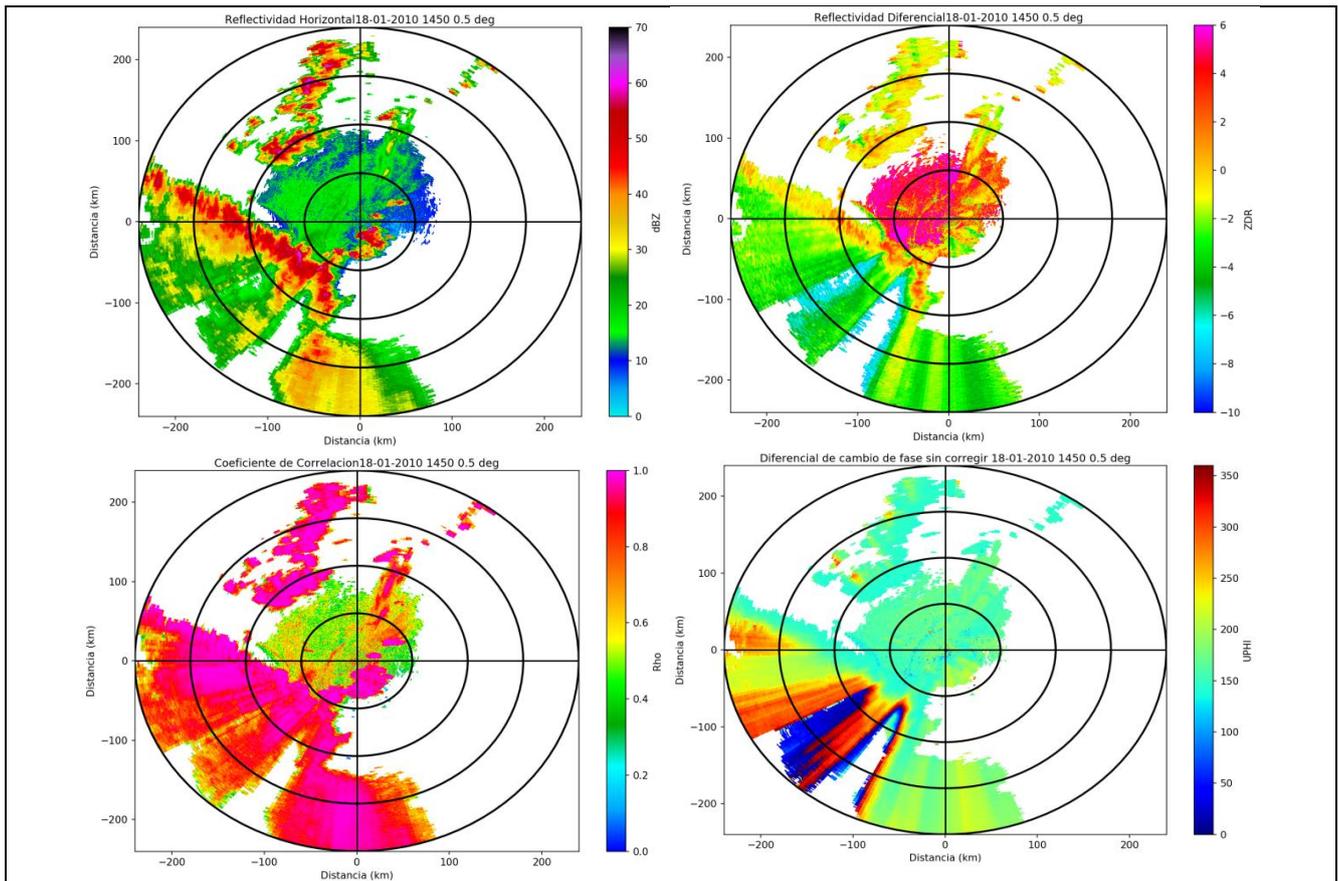
Finalmente se le aplica una máscara a los datos "NaN" (sin dato válido) y se obtiene un  $\Phi_{DP}$  corregido final que posteriormente se utilizara en diversos cálculos.

Para el cálculo del KDP existen diversas técnicas. Las más simples utilizan pendientes de regresiones lineales con diferentes intervalos en rango (Ryzkov y otros 2005), o complejas como las utilizadas por Giangrande y otros (2003) que realizan un ajuste por medio de programación lineal. En Py-ART se cuenta con una herramienta para el cálculo del KDP que desarrollo la Universidad Estatal de Colorado ([https://github.com/CSU-Radarmet/CSU\\_RadarTools](https://github.com/CSU-Radarmet/CSU_RadarTools), Lang y otros 2007) donde se aplica un filtro de respuesta finita FIR basado en cuadrados mínimos teniendo en cuenta el desvío estándar del  $\Phi_{DP}$  para corregir el dicha variable y luego se realiza un ajuste lineal para el cálculo de la pendiente que será luego el KDP. La ventana que se toma para realizar el ajuste lineal depende de la variación de la reflectividad horizontal.

Para este trabajo se utilizó la variable corregida  $\Phi_{DP}$  y se realizó una técnica simple en la se determinó la pendiente mediante una regresión lineal de 3 puntos también teniendo en cuenta que el desvío del  $\Phi_{DP}$  no supere un cierto umbral.

## 4. Resultados

Para ejemplificar la técnica descrita en la sección 3 se realizó el procedimiento para el día 18 de enero de 2010 a las 14:50 UTC. Se muestra en la figura 1, la reflectividad horizontal (dBZ), la reflectividad diferencial ( $Z_{dr}$ ), el Coeficiente de Correlación (CC) y el diferencial de cambio de fase sin corregir ( $\Phi_{DP}$ ). Se puede observar en dicha figura que hacia el sudoeste y oeste se encuentran diversas tormentas con reflectividad significativa. Las variables polarimétricas son afectadas por este sistema de tormentas y se puede observar como detrás de ellas, no solo la reflectividad es menor sino también se registran valores negativos de reflectividad diferencial y valores de coeficiente de correlación que disminuyen hasta 0.6 en algunos sectores. El  $\Phi_{DP}$  es fuertemente afectado por estas celdas y se observa un aumento de la variable desde el centro del radar y el posterior pliegue o "*folding*" debido al continuo incremento del mismo.



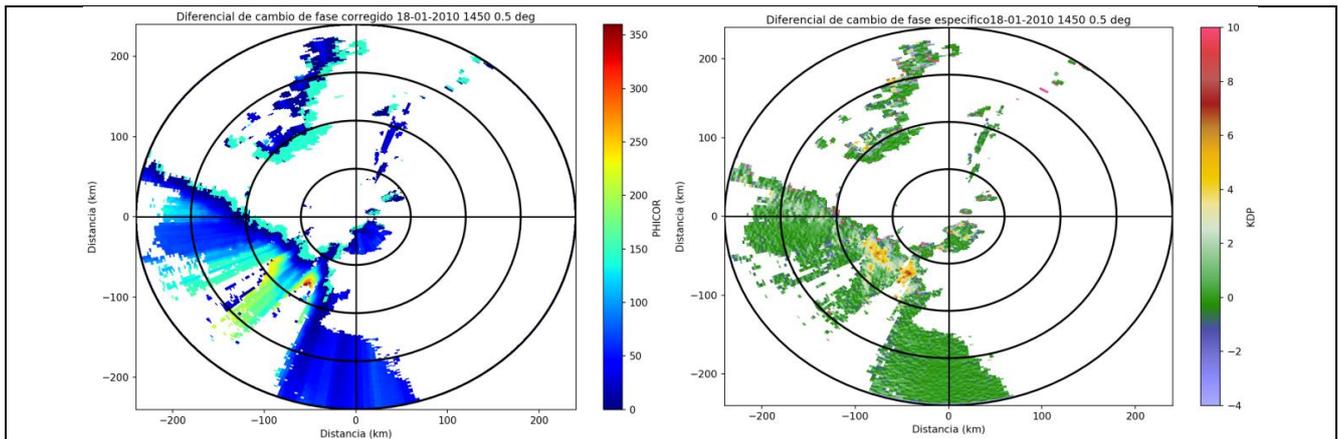
**Fig. 1.** Imagen PPI a 0.5° de elevación de Reflectividad Horizontal (Arr. Izq.), Reflectividad Diferencial (Arr. Der.), Coeficiente de Correlación (Ab. Izq.) y Diferencial de Cambio de Fase (Ab. Der.) del día 18 de enero de 2010 a las 14:50 UTC.

Cuando se corrige el  $\Phi_{DP}$  (Figura 2) se observa que se eliminan los datos que son producto de anomalías dadas por ecos no meteorológicos; esto se puede analizar observando que sobre el centro del radar los valores del CC son menores a 0.5 (bajos para ser meteorológicos) en su gran mayoría, salvo donde hay reflectividades más altas, por encima de los 40 dBZ que corresponden a ecos de precipitación.

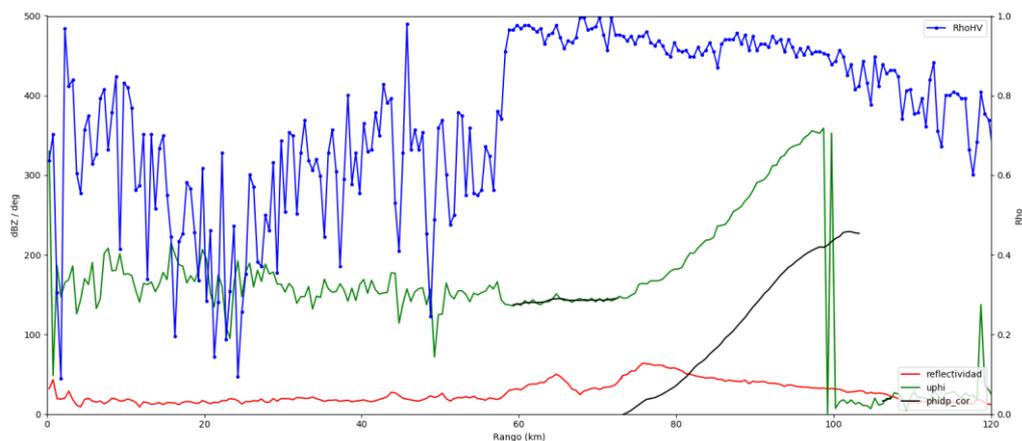
Luego se resta el  $\Phi_{DPSIS}$ , que para el periodo analizado es un valor elevado (entre 100 y 200°) y luego se le hace el “*unfolding*” para que no se produzca el salto en escala y se observa un  $\Phi_{DP}$  creciente.

En la figura 3 se muestra un perfil radial a lo largo del acimut 230°. Se puede observar un aumento del  $\Phi_{DP}$  (en verde sin corregir y en negro corregido) con una disminución de la reflectividad (en color rojo) con un CC (color azul) mayor a 0.8 y hacia el final del rango, más allá de 100km desde el centro del radar, se vuelve más ruidoso.

Por otra parte en la figura 2 (derecha) se observa el KDP, que fue calculado mediante la metodología descrita en la sección 3, y donde se registran los mayores valores donde el  $\Phi_{DP}$  presenta la mayor variación radial, es decir, donde se registra un cambio importante en la variable y por ende el KDP, siendo la derivada del  $\Phi_{DP}$ , tendrá un valor máximo.



**Fig. 2.** Imagen PPI a 0.5° de elevación del radar INTA Anguil de Diferencial de Cambio de Fase corregido (Izq.) y Diferencial de Cambio de Fase Específico (Der.) del día 18 de enero de 2010 a las 14:50 UTC.



**Fig. 3.** Perfiles radiales en haz 230° de Diferencial de Cambio de Fase sin corregir (curva verde), Diferencial de Cambio de Fase corregido (curva negra), Coeficiente de Correlación (curva azul) y Reflectividad Horizontal (curva roja) en la elevación 0.5° del radar de Paraná del día 18 de enero de 2010 a las 14:50 UTC.

## 5. Conclusiones

En este informe se muestran las metodologías propuestas para la corrección del  $\Phi_{DP}$  y el posterior cálculo del KDP. El  $\Phi_{DP}$  en los radares analizados presentan varios inconvenientes, uno de ellos es el ruido intrínseco que tiene la variable y el elevado valor de  $\Phi_{DPSIS}$  que perturba en la corrección. Si bien en los resultados se muestra que mayormente se corrige, se eliminan datos no meteorológicos, se resta el valor propio conocido como  $\Phi_{DPSIS}$  y se corrige el "folding" pueden quedar algunos haces y pixels con ruido que necesitan mayor profundidad en el análisis.

El KDP se calculó mediante un ajuste lineal de 3 puntos utilizando el  $\Phi_{DP}$  corregido previamente. Los valores resultaron dentro de los encontrados en la bibliografía para el KDP en banda C y el mismo es importante ya que puede utilizarse posteriormente para el cálculo de la estimación de precipitación.

## 6. Referencias

Bringi, V. N., & Chandrasekar, V., 2001. Polarimetric Doppler weather radar: principles and applications. Cambridge university press.

Giangrande, S.E., R. McGraw, and L. Lei., 2013. An Application of Linear Programming to Polarimetric Radar Differential Phase Processing. J. Atmos. and Oceanic Tech, 30, 1716

Helmus, J.J. & Collis, S.M., 2016. The Python ARM Radar Toolkit (Py-ART), a Library for Working with Weather Radar Data in the Python Programming Language. Journal of Open Research Software. 4(1), p.e25. DOI: <http://doi.org/10.5334/jors.119>

Kumjian, M. R., 2013: Principles and applications of dual-polarization weather radar. Part I: Description of the polarimetric radar variables. J. Operational Meteor., 1 (19), 226242, doi: <http://dx.doi.org/10.15191/nwajom.2013.0119>.

Lang Timothy J., D. A. Ahijevych, S. W. Nesbitt, R. E. Carbone, S. A. Rutledge, and R. Cifelli, 2007: Radar-Observed Characteristics of Precipitating Systems during NAME 2004. J. Climate, 20, 1713–1733.

Ryzhkov, A. V., Giangrande, S. E., & Schuur, T. J., 2005: Rainfall estimation with a polarimetric prototype of WSR-88D. Journal of Applied Meteorology, 44(4), 502-515.

Warning Decision Training Branch, 2013: Dual-Polarization Radar Principles and System Operations <http://training.weather.gov/wdtd/courses/dualpol/documents/DualPolRadarPrinciples.pdf>

Zrnic, D. S., & Ryzhkov, A. V., 1999. Polarimetry for weather surveillance radars. Bulletin of the American Meteorological Society, 80(3), 389-406.