

# Comparación de algoritmos para detectar saltos en señales GNSS.

Micaela Carbonetti y Mauricio Gende  
mcarbonetti@fcaglp.unlp.edu.ar;  
mgende@fcaglp.unlp.edu.ar

FCAG-CONICET, Argentina

18 de noviembre de 2016  
Quito, Ecuador



# Presentación del problema.

La localización y caracterización de discontinuidades abruptas es fundamental para poder entender los procesos físicos que se derivan de las variaciones temporales de las coordenadas.

Este trabajo busca comparar distintas técnicas para identificar y cuantificar saltos en series de tiempo GNSS.

- Series de tiempo de soluciones semanales ajustadas de estaciones pertenecientes a la red SIRGAS-CON;
- Análisis en las tres componentes;
- Desde la semana GPS 1000 a la 1621;
- Contar con al menos cuatro años consecutivos de datos;
- No debían contener gaps que superaran el 20 % de las muestras de la serie.

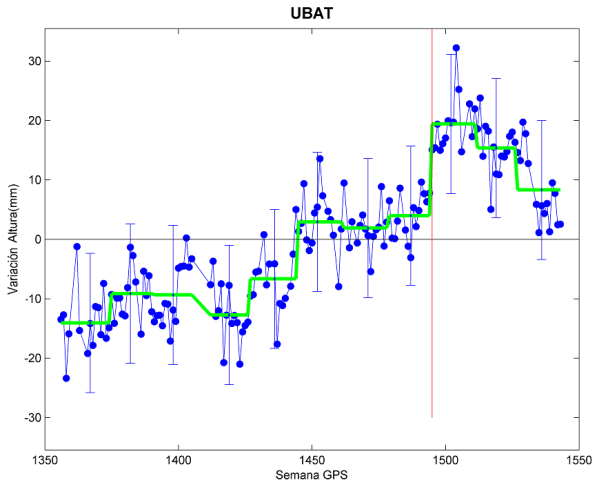
# Algoritmos utilizados.

La detección de saltos y discontinuidades en series de tiempo de frecuencia variable pueden ser abordados por un grupo de técnicas matemáticas de **cambio de régimen** y **change-point analysis**:

- Block Average (BLKAVG)
- Sequential Average (SEQAVG)
- Cumulative Sum (CUSUM).

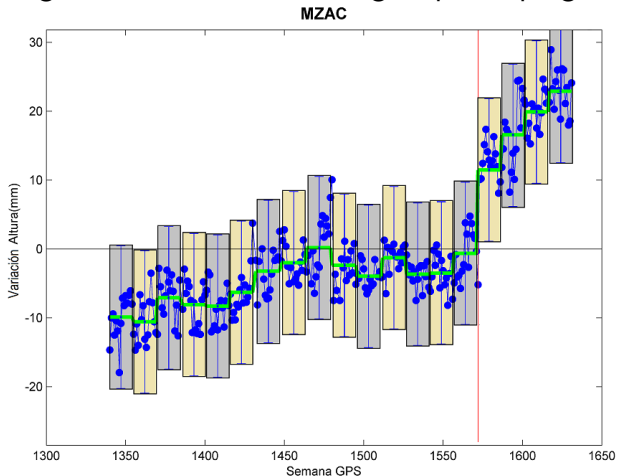
# 1.- Block Average.

El método compara con un valor umbral, los valores promedio de dos ventanas adyacentes que no se solapan.

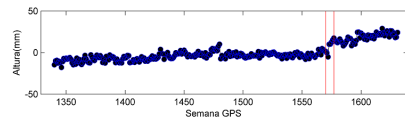
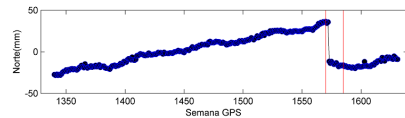
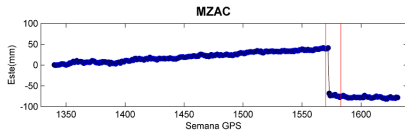
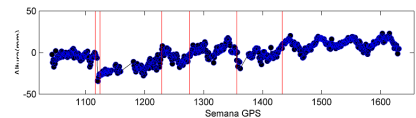
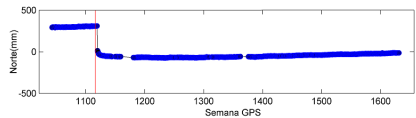
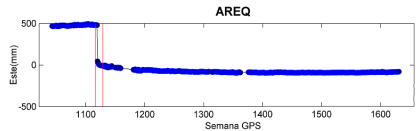


# 1.- Block Average.

El valor umbral es determinado a partir de la desviación. La longitud de la ventana es elegida por el programador.

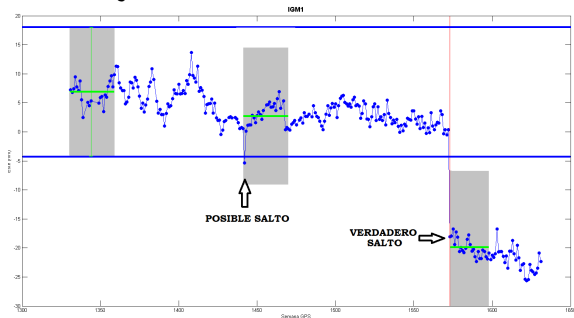


# 1.- Ejemplos Block Average.



## 2.- Sequential Average.

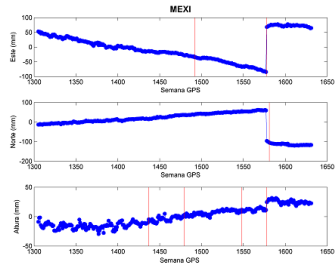
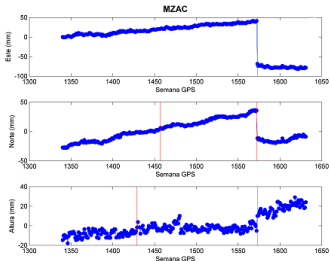
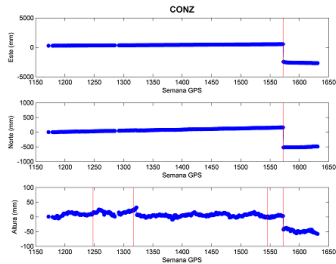
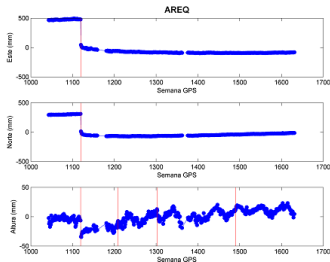
Compara el valor promedio de dos ventanas adyacentes que se pueden solapar, secuencialmente. No utiliza ventanas de un ancho fijo.



El valor límite se calcula con un parámetro estadístico (desviación) definido por la primera ventana tomada, y luego por las primeras ventanas post-salto.



## 2.- Ejemplos Sequential Average.



### 3.- Cumulative Sum

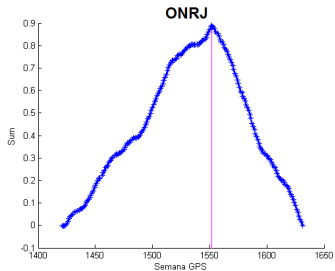
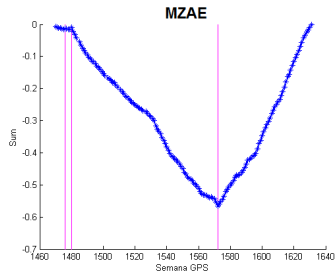
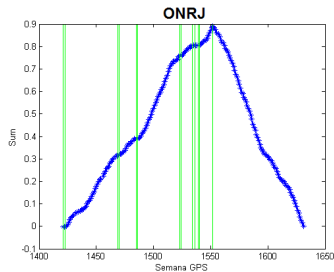
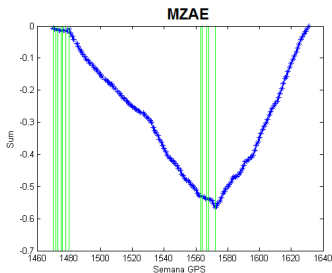
Es un método de change-point analysis (CPA). Se implementó para analizar los cambios en los valores medios, y localizar tanto visualmente como matemáticamente los saltos en las series de tiempo.

Utiliza la suma acumulativa de la diferencia entre cada dato y el promedio acumulado:

$$S_i = S_{i-1} + (X_i - \bar{X})$$

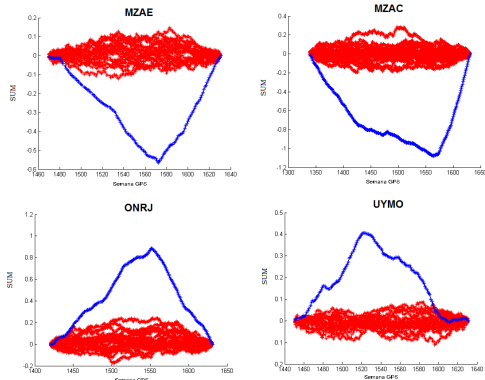
Un cambio abrupto en la pendiente indica la presencia del posible salto.

# 3.- Ejemplos Cumulative Sum.



### 3.- Cumulative Sum.

El método es capaz de proporcionar información detallada del cambio que el salto genera en la señal. Y asigna un nivel de confianza, al comparar con recombinaciones aleatorias de los datos.



Se acepta el salto si la diferencia hallada entre extremos es mayor en la serie original que en las recombinaciones en un 95 % de las veces.

# Salto y falsos positivos.

Para evitar falsos positivos sin sacrificar la sensibilidad de la detección, se propuso que:

- Los saltos tuvieran una amplitud que superara un umbral dado.
- Se buscó que estuvieran presentes en ambas coordenadas horizontales.
- En caso de tomar valores consecutivos se optó por el de mayor amplitud.

## BLKAVG

- Más sencillo de implementar de los tres, tiene bajo costo computacional;
- Su algoritmo es el que mejor maneja el drift ;
- Utiliza ventanas de análisis de un tamaño fijo (aunque seleccionable);
- No encuentra la posición exacta del salto, sino que detecta entre que ventanas ocurre.

## SEQAVG

- Detecta saltos en cualquier punto en el registro de datos;
- Es capaz de cuantificar el salto con mayor precisión que el resto de los métodos;
- La ubicación se puede mejorar mediante el análisis de los datos en ambas direcciones;
- Su efectividad depende del promedio al principio de cada régimen, por lo que nuevamente es significativo el tamaño de la ventada utilizada.

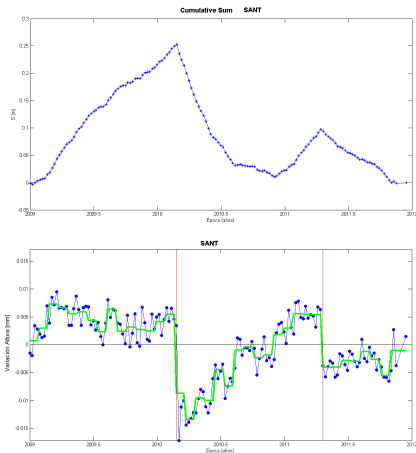
## CUSUM

- Detecta saltos en cualquier punto en el registro de datos;
- Permite identificar la posición de los saltos más significativos;
- Permite obtener un nivel de confianza para los saltos encontrados;
- Este método no permite cuantificar la dimensión del salto;
- Mayor costo computacional.



# Conclusiones.

Los algoritmos BLKAVG y SE-QAVG, junto con un gráfico de CUSUM, son eficaces para encontrar saltos en series de tiempo de coordenadas GNSS. Su aplicación se vuelve más robusta al combinar las técnicas y al cotejar, para cada estación, las ubicaciones de los saltos en las tres componentes.



# Conclusiones.

- En las coordenadas horizontales no parece sencillo detectar saltos menores a los 3 mm y ese valor asciende a 8 mm para la vertical.
- El parámetro de la longitud de la ventana fue determinante para la detección del salto, necesitando un mínimo de 7 muestras por ventana.

# Referencias.

- Riley, W.J. (2008). Algorithms for frequency jump detection. *Metrologia* 45, s.154-s.161. Doi:10.1088/0026-1394/45/6/s21.
- Rodionov, S.N. (2004). A sequential algorithm for testing climate regime shift. *Geophysics Research Letter* 33. L09204.
- Rodionov, S.N. Overview of the regime shift detection methods. Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, University of Washington.
- Gazeaux, J. et al. (2013). Detecting offsets in GPS time series: first results from the detection of offsets in GPS experiment. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth* 118, 2397-2407. Doi: 10.1002/jgrb.50152.
- Taylor, W.A. (2000). Change point analysis: a powerful new tool for detecting changes.  
<http://www.variation.com/cpa/tech/changepoint.html>
- Liu, Bin, et al. "Spatiotemporal analysis of GPS time series in vertical direction using independent component analysis..<sup>Earth, Planets and Space</sup>67.1 (2015): 1.