

## RECURSOS CUANTITATIVOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS ABRUPTOS EN LAS SERIES DE TIEMPO GEOGRÁFICAS

**POBLETE, Arnobio Germán<sup>1</sup>; MINETTI, Juan Leónidas<sup>2</sup>; BORBORE, Carla Antonella<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Geografía Aplicada- UNSJ - Universidad Nacional de San Juan

<sup>2</sup> CONICET, Dpto de Geografía- UNT -Universidad Nacional de Tucumán  
agpoblete@gmail.com; minettit@arnet.com.ar, antoleo29@gmail.com

### RESUMEN

La Geografía moderna necesita contar con metodologías objetivas capaces de brindar un arsenal de herramientas estadísticas no tradicionales precisas y de adecuada versatilidad para ser empleadas en sus distintos campos. La aplicación de ellas se ve facilitada por la gran disponibilidad de recursos informáticos y computacionales, que hacen posible su implementación. Las series de tiempo de dichas variables, presentan tendencias, oscilaciones y/o discontinuidades abruptas. El grado de impacto que pueden tener estas últimas en la sociedad, son de un grado superlativo frente a las otras formas de cambio que se manifiestan de manera más gradual, por lo que resulta imperioso determinar o identificar cambios abruptos que por su naturaleza repercuten fuertemente en el ámbito socioeconómico. En este artículo, se muestran los resultados de la aplicación de los métodos vigentes en los ámbitos geográficos, puesto que han sido probados exitosamente en diversos trabajos realizados por los autores: Change Point, Regime Shift Detection (RSI), Break Regression.

**Palabras clave:** Variables Geográficas - Cambios Abruptos - Métodos de Detección.

### RESOURCES FOR IDENTIFICATION OF QUANTITATIVE CHANGES IN THE ROUGH TIME SERIES OF GEOGRAPHIC

#### ABSTRACT

Modern Geography requires being objective methodologies capable of providing an arsenal of non-traditional statistical tools accurate and adequate versatility to be used in their various fields. Applying them is facilitated by the wide availability of computer and computational resources that enable its implementation. The time series of these variables, present trends, oscillations and / or abrupt discontinuities. The degree of impact they can have on society latter are of a superlative degree compared to other forms of change that occur more gradually, so it is imperative to determine or identify abrupt changes which by their nature strongly affect socioeconomic level. In this article, the results of the application of existing methods in geographic areas are shown, since they have been successfully tested in several studies conducted by the authors: Change Point Detection Regime Shift (RSI), Break Regression.

**Key words :** Abrupt Changes - Geographic Variables- Detection Methods.

## Introducción

En la Geografía moderna se hace imperioso contar con metodologías objetivas capaces de brindar un arsenal de herramientas estadísticas precisas y de adecuada versatilidad para ser aplicadas en los distintos campos de dicha ciencia tales como: geografía física, económica, humana y peligros ambientales, entre otras. La aplicación de las mismas se ve facilitada por la gran disponibilidad de recursos informáticos y computacionales, que hacen posible su inmediata implementación.

Muchas series temporales de variables geográficas presentan una inconstancia en su promedio en forma de tendencia, oscilaciones, saltos abruptos, entre otras. El impacto que pueden tener estas últimas en la sociedad son de un grado superlativo frente a las otras formas de cambio que se manifiestan gradualmente lo que permite disponer del tiempo suficiente para implementar medidas de prevención, adaptación y/o mitigación, por lo que resulta imperioso determinar o identificar dichos cambios abruptos que por su naturaleza repercuten fuertemente en el ámbito socioeconómico y ambiental.

Por ejemplo, un cambio climático (CC) es una inconstancia en el promedio de las variables meteorológicas que incluyen formas como las descriptas, sin especificar la naturaleza del forzante que la genera (natural, antrópico, o ambos). Diversos autores han mostrado al CC como tendencias de las principales variables (por ej; temperatura y precipitación) (IPCC, 2001) y otros en forma de saltos o discontinuidades abruptas (Yamamoto, 1987; Vargas *et al.*, 1995; Minetti y Vargas, 1998, entre otros).

De la misma manera, en el ámbito de la Geografía existen variables que pueden presentar características similares a las descriptas tales como producción agropecuaria, exportación, importación, balanza de pagos, variables demográficas, crecimiento urbano, flujos interregionales entre otras. En varias de ellas resulta imperioso determinar o identificar cambios bruscos que por su naturaleza repercuten fuertemente en el espacio geográfico y ámbito socioeconómico.

Por lo expuesto, es importante contar con metodologías específicas, objetivas y precisas que sean capaces de detectar dichos cambios abruptos. Los métodos tradicionales para detectar cambios en la media de una serie temporal son: Prueba de “t” de Student (Von Storch, H. & Zwiers, F. W., 1999) Análisis bayesiano (Chu, P. S. & Zhao, X., 2004), test de Mann – Whitney (Wei, W. W. S., 1990), Prueba de Lepage (Yonetani, T., 1993), test de Wilcoxon suma de rangos (Easterling, D. R. & Peterson, T. C., 1995), test de Pettitt (Pettitt, A. N., 1979), test de Mann-Kendall (Von Storch, H. & Zwiers, F. W., 1999), test de homogeneidad -SNHT- (Alexandersson, H., 1986), test de regresión basada en aproximaciones (Solow, A. R., 1987), método de Oerlemans (Oerlemans, J., 1978), Relación señal –ruido (Yamamoto, R., Iwashima, T. & Sange, N. K., 1986), Análisis de Intervención (Box, G. E. P. & Tiao, G. C., 1975), cadena de Markov Monte Carlo (Hawkins, P. M., 1977), método de Lanzante (Lanzante, J. R.,

1996), método de Stars - versión secuencial del método CUSUM parcial combinado con la prueba t- (Goossens, C. & Berger, A., 1987).

También hay métodos para la búsqueda de cambios en la varianza que en muchos casos fueron elaborados por los autores citados. En este artículo, se describen los más relevantes de los vigentes en los ámbitos geográficos y climatológicos mundiales y que han sido probados exitosamente en diversos trabajos realizados por los autores. Los mismos son: Change Point, Regime Shift Detection (RSI), Break Regression, exponiendo algunos resultados de su aplicación.

## Métodos seleccionados

### 1.- Change Point

El análisis Change Point (CP) es una nueva herramienta para determinar si ha ocurrido un cambio abrupto en una serie temporal. Es capaz de descubrir variaciones sutiles ignoradas por el control visual. Además caracteriza los cambios identificados, calculando niveles e intervalos de confianza, proporcionando una información extensa que se puede usar como complemento del análisis gráfico. Como evalúa los datos históricos, el CP lo supera a éste, sobre todo cuando son numerosos; puesto que caracteriza los cambios, controla la proporción del error global, es sensible para la detección de *outliers*, más flexible y simple de usar.

*Procedimiento:* Los pasos usados por Taylor (2000a) para realizar un análisis iterativo de CP, consiste en realizar una combinación de gráficos de la suma acumulativa (CUSUM) (figura 1) y la aplicación de un *bootstrapping* o *bootstrap*, que es un método de re-muestreo. Se utiliza para aproximar una distribución en la muestra de un estadístico. Se usa frecuentemente para ajustar el sesgo o la varianza del mismo, así como para construir intervalos de confianza o realizar contrastes de hipótesis sobre parámetros de interés. En la mayor parte de los casos no pueden obtenerse expresiones cerradas para las aproximaciones *bootstrap* y por lo tanto es necesario lograr otras remuestras mediante un procedimiento informático. La enorme potencia de cálculo de las PC actuales facilita considerablemente la aplicabilidad de este procedimiento que requiere una gran iteratividad (Taylor, 2000b).

Para identificar y valuar los cambios con el procedimiento descrito se comienza con la construcción de un gráfico CUSUM (figura 1). Dicho gráfico es elaborado calculando y trazando la suma acumulativa basada en lo datos originales: Sea la serie  $X_1, X_2, \dots, X_N$  que representa los  $N$  puntos de los datos.

De estos, se calculan las sumas acumulativas:  $S_0, S_1, S_2, \dots, S_N$ , como sigue:

1. Primero se calcula el promedio:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N}$$

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

2. La suma acumulativa del cero es  $S_0 = 0$ .
3. Se computan las restantes sumas acumulativas agregando la diferencia entre el valor actual y el promedio de la suma anterior a él, es decir:

$$\text{para } i = 1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

Las sumas acumulativas no son las mismas que la de los valores originales, sino las homólogas de las diferencias entre ella y el promedio. Estas, sumadas deben ser cero para que la suma acumulativa correspondiente también sea cero ( $S_N = 0$ )

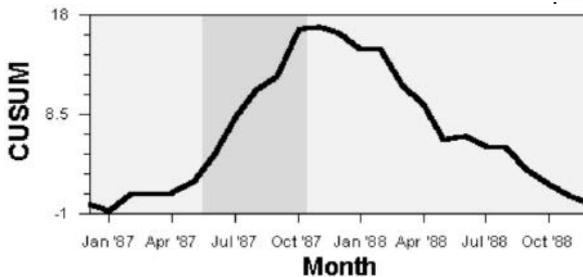


Fig. 1. Gráfico correspondiente a la suma acumulada (CUSUM).  
El área celeste muestra las fechas en que se produjeron posibles puntos de cambio.

Para interpretar un gráfico CUSUM se debe realizar lo siguiente: sea un período de tiempo en que los valores tienden a ser menores al promedio global. En este caso, la mayoría de los que se agreguen harán que la suma acumulativa sea positiva y en aumento constante. Luego un segmento del gráfico tendrá una pendiente ascendente que describa un período donde los valores tienden a ser mayores que el promedio global. Igualmente un intervalo con una pendiente descendente indica un lapso de tiempo donde los valores tienden a estar debajo del mismo. Una variación súbita en la dirección del gráfico, exterioriza un cambio brusco en la media. Los períodos donde el CUSUM sigue un camino relativamente recto señalan un lapso donde la media no cambia (Taylor, 2000b).

El problema de dichos gráficos es que requieren considerable habilidad para interpretarlos correctamente ¿Cómo se puede estar seguro que estos cambios tuvieron lugar?. Para ello se necesita determinar un nivel de confianza para que el mismo quede claramente identificado, para lo cual se debe realizar un análisis de *bootstrap*. Antes de ejecutarlo, se precisa un estimador de la magnitud del cambio. Una opción para lograrlo es la llamada *Sdiff* que se calcula correctamente sin tener en cuenta la distribución, a pesar de presentar cambios múltiples, y se define como:

$$S_{dif} = S_{max} - S_{min} \quad (3) \quad \text{donde}$$

$$S_{max} = \max_{i=0, \dots, N} (S_i) \quad (3a)$$

$$S_{min} = \min_{i=0, \dots, N} (S_i) \quad (3b)$$

Donde  $S_{max}$  es la mayor de todas las sumas acumuladas y  $S_{min}$  la menor.

Una vez que se ha seleccionado el estimador de la magnitud del cambio, puede realizarse el análisis bootstrap. Para un solo cambio, se opera de la siguiente manera:

- 1.- Se genera una muestra de bootstrap de N unidades,  $X_1^0, X_2^0, \dots, X_N^0$  resultando N valores al azar. A esto se le llama muestreo sin reemplazamiento.
- 2.- Basado en la muestra obtenida, se calcula el bootstrap del CUSUM y se lo  $S_1^0, S_2^0, \dots, S_N^0$
- 3.- Se calcula el máximo, mínimo y diferencia del bootstrap CUSUM llamados respectivamente:  $S_{max}^0, S_{min}^0, \dots, S_{dif}^0$
- 4.- Se determina si la diferencia bootstrap  $S_{dif}^0$  es menor que la original  $S_{dif}$

La idea de ejecutar el bootstrap es que las muestras generadas por dicho procedimiento ("sample - bootstrap") representan el reordenamiento aleatorio de los datos que imitan la conducta del CUSUM, si no ha ocurrido ningún salto. Realizando un gran número de muestras bootstrap, se puede estimar cuántos " $S_{dif}^0$ " habrían si no tuvo lugar ningún cambio. De esta manera, se puede comparar con el valor de  $S_{dif}$  calculado a partir de los datos en su orden original para determinar si este valor es consistente con que no se haya producido algún cambio, (Taylor, 1980b).

Ejemplo de aplicación: A este método los autores lo aplicaron para el análisis de cambios abruptos en el caudal anual del río Maipo (Chile) (Poblete, A. G., Novoa Jerez, E., 2010).

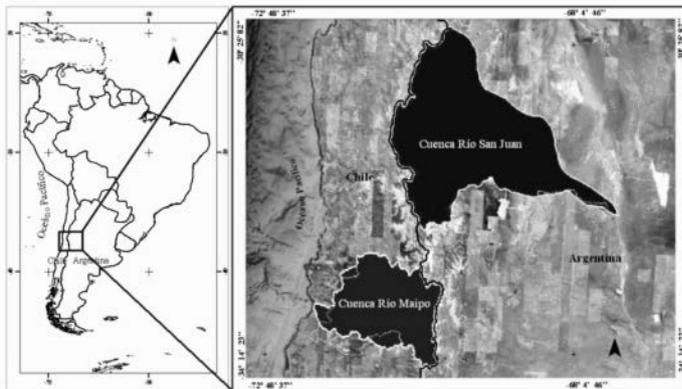


Fig. 2. Ubicación de las cuencas de los ríos Maipo-Chile y San Juan-Argentina, utilizados a modo de ejemplo de la aplicación de los métodos Change Point y RSI.

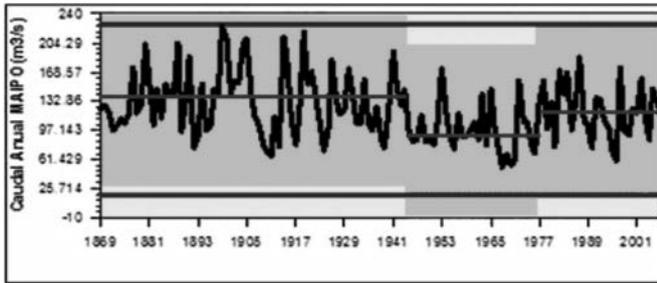


Fig 3. Análisis de puntos de cambio para la serie temporal de los caudales del río Maipo desde 1869-2007.

Tabla 1. Estadísticos de los Puntos de cambio encontrados en la serie temporal del río Maipo.

COLUMNA A	INTERVALO DE CONFIANZA	NIVEL DE CONFIANZA	DESDE	HASTA	NIVEL
1945	(1928, 1950)	100%	133.51	96.056	1
1977	(1963, 1995)	92%	96.056	121.43	3

La Fig. 3 y la tabla 1 muestran el resultado de la aplicación CP descrita. Se puede apreciar que los puntos de cambio detectados ocurren en los años 1945 y 1977. En 1945 el caudal medio anual del Maipo decreció de 133,51 m<sup>3</sup>/s a 96,05 m<sup>3</sup>/s (-28%) con un nivel de confianza del 100%, mientras que en 1977 la media se incrementa de 96,05 m<sup>3</sup>/s a 121,43 m<sup>3</sup>/s (+20%) con un nivel de confianza del 92%. Como se advierte, este valor de la media no alcanza al que tenía en 1945 (hay una diferencia del 8%). Cabe destacar que el periodo 1945-1977 es detectado en diversas variables climáticas e hidroclimáticas estudiadas por los autores) ( Poblete, A. G. *et al.*, 2008), por lo cual, gran parte de su investigación se orientará a identificar los forzantes que produjeron los cambios de régimen en dichos años.

## 2.- Regime Shift Detection (RSI)

Este método detecta un posible cambio de régimen climático (CRC) o de cualquier otra variable geográfica. Fue implementado por (Rodionov, 2004), que afirma que aunque hay procedimientos para una identificación automática de discontinuidades en una serie de tiempo, su performance disminuye drásticamente al final de la misma, lo que se debería a que los métodos requieren para descubrir fechas de cambio un análisis de los valores centrales antes y después de aquellas, por ende se necesitan periodos suficientemente largos de cada subserie para estabilizar al promedio

con un error aceptable que sea estadísticamente significativo. El algoritmo secuencial propuesto por Rodionov, permite el hallazgo temprano de un CRC, una supervisión subsecuente de él y su magnitud en el tiempo. Este procedimiento puede manejar los datos, ya sea como anomalías o valores absolutos.

La noción de que las variaciones del clima o de cualquier fenómeno geográfico ocurren a menudo en forma de “régimen” empezó a apreciarse en los años noventa. Este paradigma se inspiró en el rápido cambio del clima del Pacífico Norte alrededor de 1977 y la identificación de otros cambios abruptos en la PDO (Oscilación Decadal Pacífica) (Mantua *et al.*, 1997).

En el análisis secuencial el número de observaciones no es fijo. Para cada nuevo registro se realiza una prueba para determinar la validez de la hipótesis nula  $H_0$  (en este caso, la existencia de un cambio de régimen). Hay tres posibles resultados de la dócima: se acepta  $H_0$ , se desecha  $H_0$ , o se espera la comprobación.

El procedimiento consta de los siguientes pasos (Rodionov, 2004):

- 1) Proponer la longitud del corte “l” para identificar los regímenes a ser determinados para la variable estudiada “X”. El parámetro “l” es similar al punto de corte en el filtro low-pass. Más información de cómo escoger “l” se verá más adelante.
- 2) Determinar “dif”, es decir, la diferencia entre la media de valores de dos regímenes subsecuentes que serían estadísticamente significativos según la prueba “t” de Student, o sea:

$$dif = t \sqrt{2 \sigma_i^2 / l} \quad (4)$$

Donde “t” es el valor de la distribución “t” de Student con  $2 * l - 2$  grados de libertad en la probabilidad dada “p”.

Se asume que las varianzas de ambos regímenes, antes y después de un salto, son las mismas e igual a la media de la varianza total  $\sigma_i^2$  para la corrida de intervalos de “l-años” en la serie.

- 3) Calcular la media  $\bar{x}_{R_1}$  de los “l” valores iniciales de la variable “X”, como una estimación para el régimen “ $R_1$ ” y los niveles que deben alcanzarse en los “l años” subsecuentes para encontrar un cambio de régimen “ $R_2$ ”.

$$\bar{X}'_{R_2} = \bar{X}_{R_1} \pm dif \quad (5)$$

- 4) Para cada nuevo valor de inicio en el año  $i = 1 + 1$  se verifica si es mayor que el  $\bar{X}_{R_1} + dif$  o menor que  $\bar{X}_{R_1} - dif$ . Si no excede el rango,  $\bar{X}_{R_1} \pm dif$  entonces se asume que el régimen actual no ha cambiado. En este caso se recalculan  $\bar{x}_{R_1}$  media para incluir el nuevo valor  $x_i$  y l-1 valores anteriores de la variable “X” y esperar el próximo valor subsecuente. Si el nuevo valor  $x_i$  excede el  $\bar{X}_{R_1} + dif$ , entonces este año es considerado como un posible punto “j” en donde comienza el nuevo régimen  $R_2$ .
- 5) Después que se determina el punto de cambio, cada nuevo valor de  $x_i$  para  $i > j$ , se usa para confirmar o rechazar la Hipótesis Nula de un cambio de régimen en el año “j”. Si la anomalía  $x_i - \bar{x}_i = dif$  es del mismo signo que la señal, es el momento

de un cambio de régimen, lo que aumentaría la confianza de que el mismo haya ocurrido. Lo inverso es verdad si las anomalías tienen los signos opuestos. Este cambio en la confianza de un CRC en  $i = j$ , se refleja en el valor del índice RSI (“Regime Shift Index”), que representa una suma acumulativa de las anomalías normalizadas (6):

$$RSI_{i,j} = \sum_{i=j}^{j+m} \frac{x_i^*}{l\sigma}, m = 0,1,\dots,l-1 \tag{6}$$

Si se cumple  $\bar{X}_{R_1} + dif \cdot x_i^* = x_i - \bar{x}_{R_2}$  que se determina que el cambio es ascendente y si, por otra parte,  $x_i^* = \bar{x}_{R_2} - x_i$ , el cambio es descendente. Si desde  $i=j+1$  a  $i=j+l-1$ , el valor de RSI es negativo, se ejecuta el paso 6, de lo contrario, el 7.

- 6) Cuando se realiza la prueba para detectar un cambio del régimen en un año “j” y el valor de RSI es negativo, significa que la misma falló. En este caso se asigna cero a RSI, y se recalcula la media  $\bar{x}_{R_1}$  para incluir el valor de  $x_j$  y comprobar para los valores de  $x_i$  que empiezan con  $i = j + 1$  para su excedencia de rango,  $\bar{X}_{R_1} \pm dif$  como en el paso 4.
- 7) El valor positivo de medias de RSI indica que el cambio de régimen en el año “j” es significativo para la probabilidad asignada por el nivel de confianza.

Luego se calcula el valor medio real para el nuevo régimen  $\bar{x}_{R_2}$ . En este punto se vuelve al paso 1 y se prueba que se extenderá en el tiempo. La búsqueda para el próximo cambio al régimen  $R_3$  empieza en el año  $i = j + 1$ . Este paso hace necesario asegurarse que al cronometrar el próximo CRC este es determinado correctamente aun cuando la duración real de régimen  $R_2$  sea menor que “1 años”. Los cálculos continúan haciendo un bucle desde el paso 4 al paso 7 hasta terminar todos los datos disponibles para que se procese toda la serie. Si hay muchos registros, el RSI final es el promedio de los RSI de cada uno de ellos (Rodionov, 2004).

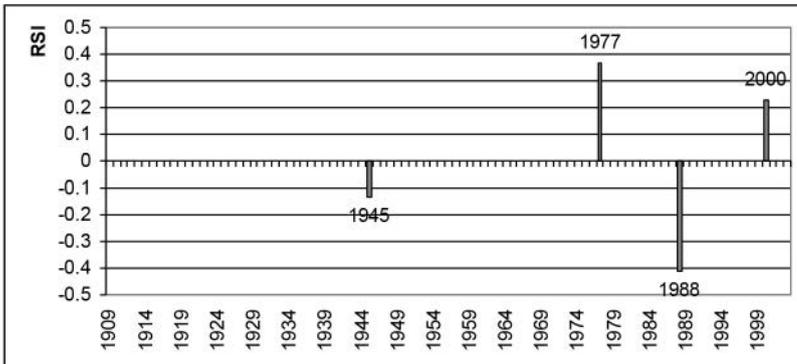


Fig 4. Años en donde el RSI es significativo para el derrame anual del río San Juan.



Ejemplo de aplicación :se muestra la implementación del método RSI descrito en el análisis del derrame anual del río San Juan- ver en figura 2 su ubicación- (Poblete, G. y Minetti, J. L., 2010).

Se puede apreciar que el método ha detectado en los años 1945 y 1988 saltos descendentes, y en 1977 y 2000 ascendentes (figura 4) que marcan la estructura del cambio de régimen que se puede observar en la figura 5.

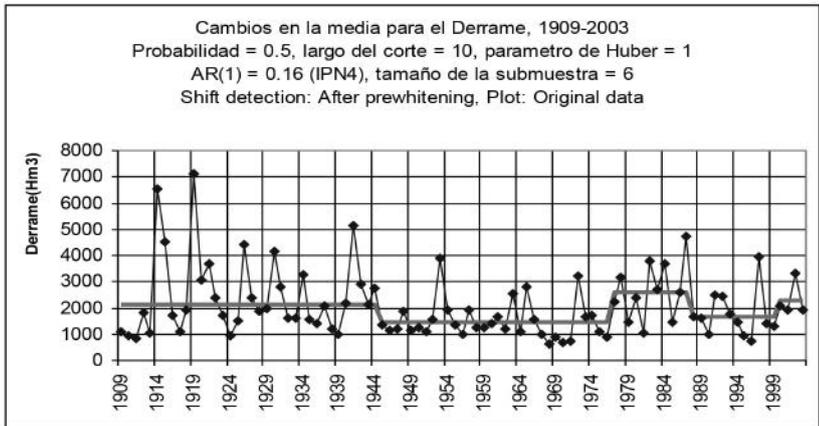


Fig 5. Estructura del cambio de régimen en el derrame anual del río San Juan.

Nótese que se puso de manifiesto el cambio de régimen encontrado con el método Change Point para el río Maipo, lo que indica la objetividad de ambos para detectar el periodo clave entre 1945-1977 en la variabilidad/cambio de muchas variables climáticas y geográficas, como ya se indicó. (Poblete, G. y Novoa, E. L., 2010).

### 3.- Test de Break Regression (BR)

El procedimiento de las regresiones de ruptura (Break Regression -BR-) consiste en calcularlas punto a punto durante un corrimiento sobre toda la serie temporal, y en cada uno de ellos aplicar un test de significación de la tendencia. Cuando ésta es significativa en un punto dado se lo considera como un cambio abrupto de la recta de regresión, (Mudelsee, M., 2009).

Este método está incluido dentro de la llamada Regresión Segmentada (Piecewise Regression -PR-) que identifica “puntos de ruptura” (“breakpoints”), donde hay claramente dos o más relaciones lineales diferentes en los datos con un brusco cambio repentino en la direccionalidad.

En este artículo se describe sucintamente, el procedimiento de cálculo de la BR, cuyos algoritmos para un tiempo continuo son:

$$x_{trend}(t) = x_{break}(t) = \begin{cases} x_1 + \frac{(t-t_1)(x_2-x_1)}{(t_2-t_1)} & \text{para } T \leq t_2 \\ 2x + \frac{(t-t_2)(x_3-x_2)}{(t_3-t_2)} & \text{para } T > 2 \end{cases} \quad \text{para } (7)$$

Donde  $X_{break}(T)$  es el punto de ruptura poblacional de la tendencia  $X_{trend}(T)$ .

Como se ve, en el algoritmo (7) tiene cuatro parámetros libres:  $x_1$ ,  $t_2$ ,  $x_2$  y  $x_3$ . Donde  $x_i$  son realizaciones de las serie en los tiempos  $t_i$ , con  $i=1,2,3\dots$

Una formulación alternativa incluiría los siguientes parámetros:  $t_2$ ,  $x_2$ ,  $\beta_1 = (x_2 - x_1) / (t_2 - t_1)$  y  $\beta_2 = (x_3 - x_2) / (t_3 - t_2)$ . Con  $\beta_i$  la pendiente de la recta  $i$ .

La ruptura (*break*) describe un cambio en la tendencia lineal en un punto ( $t_2$ ,  $x_2$ ), a partir de las pendientes  $\beta_1$  a  $\beta_2$  correspondientes a las rectas anteriores y posteriores al quiebre. Asumiendo que la desviación estándar  $S(i)$  mide la variabilidad, el modelo de quiebre se ajusta mediante la minimización de la siguiente suma de mínimos cuadrados ponderada:

$$SSQW(x_1, t_2, x_2, x_3) = \sum_{i=1}^n \frac{[x(i) - x_{break}(i)]^2}{s(i)^2} \quad (8)$$

Donde  $x_{break}(i)$  es la, versión muestral en tiempo discreto de  $X_{break}(T)$  poblacional (Ec. (8)).

Debido a que se supone que la ruptura o quiebre es una descripción adecuada sobre toda la longitud de registros en el intervalo limitado por  $t_1$  y  $t_3$ , sólo un punto de tiempo, a saber:  $t_2 = t(i_2)$ , con  $i_2$  un número entero entre 1 y  $n$ , es considerado como candidato para el corte ( $t_2$ ).

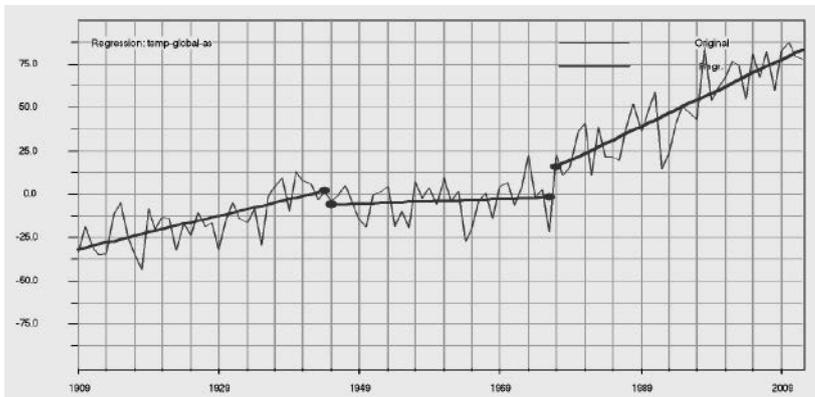


Fig 6. Puntos de cambios en la tendencia de la recta de regresión lineal detectados con el procedimiento Break-Regression en la marcha interanual de la temperatura global.

Ejemplo de aplicación: Para ilustrar el método descrito, se muestra la detección por medio del mismo de los tres ritmos de crecimiento de la temperatura global (TG)

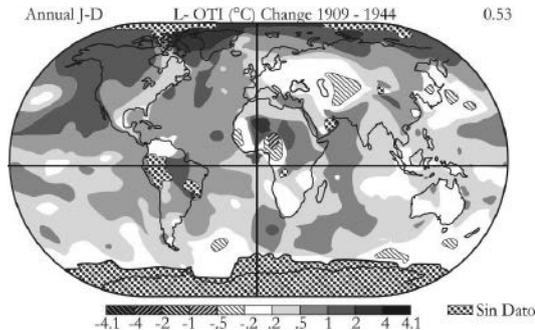


Fig 7a. Calentamiento Global (CG), en el primer periodo detectado por la BR: 1909-1944.

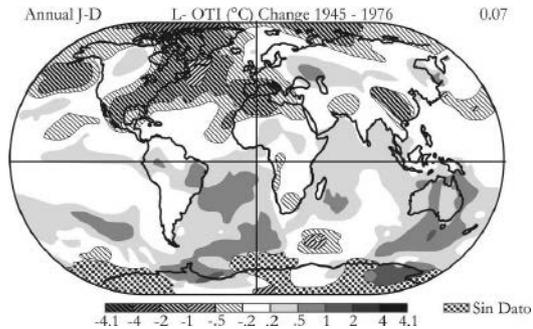


Fig.7b. Calentamiento Global (CG), en el primer periodo detectado por la BR: 1945-1976.

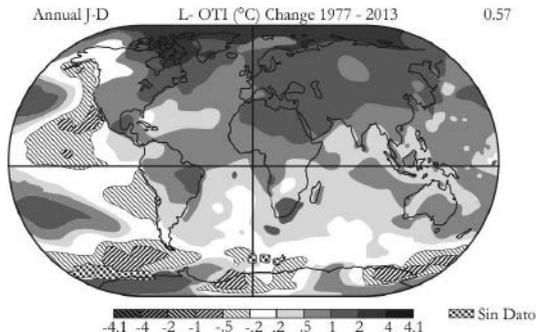


Fig.7c. Calentamiento Global (CG), en el primer periodo detectado por la BR: 1977-2013.

En la figura 6 se observan los intervalos en los que se produjeron cambios significativos en la TG: 1909-1944, 1945-1976, 1977-2012. Desde 1909 hasta 1944 tuvo un crecimiento moderado, entre 1945 y 1976 se estabilizó, mientras que desde 1977 registró una fuerte aceleración hasta la actualidad, y que el método BR fue capaz de identificarlo y describirlo.

Los periodos de cambios de ritmo de crecimiento de la TG encontrados con el método BR se confirman en las figuras 7 a, b, c. En la primera se nota, un calentamiento no homogéneo, puesto que, hay áreas neutras como Eurasia, norte de Sudamérica, gran parte de Australia; y áreas con enfriamiento como Nueva Guinea, entorno de Mar Caspio, Corea y Japón. Lo que verificaría el aumento moderado en el periodo 1909-1944.

En la figura 7b, se aprecia una Tierra con tendencia al enfriamiento, en especial, en el hemisferio Norte, otras neutras y un leve calentamiento en los océanos Atlántico Sur e Índico, Australia y mares adyacentes. El índice 0.07 confirma la estabilidad mostrada en el figura 5.

La figura 7c, muestra una Tierra en su mayor parte de su superficie, un elevado calentamiento, en especial, en el Ártico, Eurasia salvo península Ibérica, India y China (con calentamiento moderado), Nordeste de Brasil y Antártida occidental.

Esto induce a investigar los forzantes que podrían haber intervenido para que esos cambios de ritmos se produzcan.

Para corroborar lo encontrado con el método BR, se decide analizar el comportamiento espacial de la temperatura global mediante las figuras 6 a, b, c. en dichos intervalos, que muestran una total compatibilidad.

## **Conclusiones**

Dada las falencias de metodologías objetivas en muchos de los trabajos geográficos que se publican en diversas revistas resulta importante contar con las técnicas descritas que, como se demostró, brindan un arsenal de herramientas estadísticas sofisticadas con la cualidad de ser precisas y de adecuada versatilidad para ser aplicadas en los distintos campos de la geografía tales como: climatología, hidrografía, geografía económica, humana, médica, de ordenamiento territorial, de riesgos y peligros ambientales, entre otras.

La implementación de las mismas se ve facilitada por la gran disponibilidad de recursos informáticos y computacionales, que hacen posible su implementación en las distintas ramas nombradas, lo que se complementa satisfactoriamente al contar en el presente con un fácil y actualizado acceso a los datos vía internet.

De los tres métodos descriptos, el que resulta más novedoso y útil es el de Break Regression, ya que permite identificar con precisión los ritmos de crecimiento de las distintas series temporales surgidas del análisis implementado, en cada una de los enfoques citados.

## Agradecimientos

Se agradece a las siguientes instituciones y proyectos por sus aportes económicos para el desarrollo de este trabajo: ANCYT, PICTO- UNSJ-2009-0150-BID; Universidad Nacional de San Juan: Proyecto: “Análisis Climatológico-dinámico de la Crisis Hídrica de los últimos años en Cuyo y Chile Central en el Contexto del Cambio Climático Global”. Cod. 18/14-CS-UNSJ. CICITCA. Laboratorio Climatológico Sudamericano sede NOAA, Secretaría de Energía por los datos proporcionados para esta investigación. NCEP/NCAR y la NOAA por los datos del Reanalysis y su tratamiento.

## Referencias

- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, 6, 661-675.
- Box, G. E. P.; Tiao, G. C. (1975). Intervention analysis with applications to economic and environmental problems. *Journal of the American Statistical Association*, 70, 70-79.
- Chu, P. S.; Zhao, X. (2004). Bayesian change-point analysis of tropical cyclone activity: The central North Pacific case. *Journal of Climate*, 17, 4893-4901.
- Goossens, C.; Berger, A. (1987). How to recognize an abrupt climatic change? *Abrupt Climatic Change: Evidence and Implications* (eds W. H. Berger & L. D. Labeyrie), pp. 31-46. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Hawkins, P. M. (1977). Testing a sequence of observations for a shift in random location. *Journal of the American Statistical Association*, 73, 180-185.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Climate Change 2001-Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III*. 397 pgs.
- Lanzante, J. R. (1996). Resistant, robust and non-parametric techniques for the analysis of climate data: Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data. *International Journal of Climatology*, 16, 1197-1226.
- Mantua, N. J. (2004) Methods for detecting regime shifts in large marine ecosystems: a review with approaches applied to North Pacific data. *Progress in Oceanography*, 60, 165-182.
- Minetti, J. L.; W. M. Vargas (1998). Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15°S. *Atmósfera* 11, 205-222.
- Mudelsee, M. (2009). Break function regression. A tool for quantifying trend changes in climate time series. *Eur. Phys. J. Special Topics* 174, 49-63. EDP Sciences,

- Springer-Verlag.
- Oerlemans, J. (1978). An objective approach to breaks in the weather. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1672-1679.
- Pettitt, A. N. (1979). A nonparametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28, 126-135.
- Poblete, A. G.; Minetti, J. L. (2010). Detección de Cambio de Régimen en el Derrame Anual del río San Juan. *Revista del Departamento de Geografía*. U. N. Tucumán. San Miguel de Tucumán.
- Poblete, A. G.; Minetti, J. L., Valdez, V. (2008). Asociaciones espaciales entre índices de circulación atmosférica regional y de la cupla océano-atmósfera, con los caudales del río San Juan – Argentina. *Revista de Geografía*, Vol.12, año 8, San Juan, pags. 53-62.
- Poblete, A. G.; Novoa Jerez, E. (2010). Reconstrucción de Caudales Anuales del río Maipo (Chile) basada en las Descargas Anuales del río San Juan (Argentina). *Revista de Geografía Norte Grande*. Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. En impresión.
- Rebstock, G. A. (2002). Climatic regime shifts and decadal-scale variability in calanoid copepod populations off southern California. *Global Change Biology*, 8, 71-89.
- Rodionov, S. (2004). A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters*, 31, -L09204.
- Solow, A. R.; Beet, A. R. (2005). A test for a regime shift. *Fisheries Oceanography*, 14, 236-240.
- Taylor, W. (2000a). Change-Point Analyzer 2.0 shareware program, Taylor Enterprises, Libertyville, Illinois. Web: <http://www.variation.com/cpa>.
- Taylor, W. (2000b). "A Pattern Test for Distinguishing Between Autoregressive and Mean.
- Vargas, W. M.; J. L. Minetti and A. G. Poblete (1995). Statistical study of climate jumps in the regional zonal circulation over South America. *J. Met. Soc. of Japan* 73, 849-856.
- Von Storch, H.; Zwiers, F. W. (1999) *Statistical analysis in climate research*. Cambridge University Press.
- Wei, W. W. S. (1990). *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods*. Addison-Wesley, Redwood City, CA.
- Yamamoto, R., Iwashima, T.; Sange, N. K. (1986). An analysis of climate jump. *J. Meteorol. Soc. Jap.*, 64, 273-281.
- Yonetani, T. (1993). Detection of long term trend, cyclic variation and step like change by the Lepage test. *J. Meteorol. Soc. Jap.*, 71, 415-418.