



Análisis estructural de la efectividad de los pronósticos del Instituto de Meteorología de Cuba

Structural analysis of the effectiveness of the forecasts of the Cuban Institute of Meteorology



<https://cu-id.com/2377/v29n2e03>

 Nathalí Valderá Figueredo^{1*},  Eileen González Fragueta²

¹Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología, Loma de Casablanca, Regla, La Habana, Cuba, Apdo. 17032, C.P. 11700, Habana 17

²Centro del Clima, Instituto de Meteorología, Loma de Casablanca, Regla, La Habana, Cuba, Apdo. 17032, C.P. 11700, Habana 17

RESUMEN: En Cuba se verifican las predicciones emitidas por el Centro de Pronósticos (CenPro) del Instituto de Meteorología de Cuba desde el año 1978. Aunque esta práctica se mantiene hasta la actualidad, el proceso de verificación ha experimentado variaciones desde aquel entonces, ya sea por cambios en los procedimientos, por modificaciones en el software utilizado para ello o por redistribuciones de las regiones y zonas de pronóstico. Es por ello que el objetivo de la presente investigación es realizar un análisis estructural de la serie conformada por la efectividad de los pronósticos del CenPro con el propósito de identificar cuál de las metodologías y/o regionalizaciones implementadas provocaron una alteración en el comportamiento de la serie. Los datos relativos a la efectividad de las predicciones del tiempo se extrajeron de los resúmenes mensuales y trimestrales de la verificación de las predicciones confeccionadas entre los años 1980 y 2020. Una vez comprobada la normalidad del conjunto de datos se procedió a aplicar el test de Bai-Perron para la detección de múltiples puntos de cambio en una serie cronológica arrojando que la existencia de dos cambios estructurales significativos en los años 1996 y 2002. De esta manera, la serie de la efectividad de las predicciones del CenPro quedó dividida en tres subperiodos homogéneos: 1980-1995, 1996-2001 y 2002-2020

Palabras clave: Series de tiempo, Análisis estructural, Punto de Cambio, Verificación de Pronósticos, Efectividad.

ABSTRACT: In Cuba, the predictions issued by the Forecast Center (CenPro) of the Cuban Institute of Meteorology since 1978 are verified. Although this practice continues to this day, the verification process has undergone variations since then, either due to changes in the procedures, modifications in the software used for it, or redistribution of forecast regions and areas. For this reason, the objective of this research is to carry out a structural analysis of the forecast effectiveness series in order to identify which methodologies and/or regionalizations implemented caused an alteration in the behavior of data serie. Data related to the effectiveness of weather forecasts were extracted from monthly and quarterly verification summaries made between 1980 and 2020. Once the normality of the dataset was verified, it was applied the Bai-Perron test to detect multiple change points in a time series, revealing the existence of two significant breakpoints in the years 1996 and 2002. Thus, the series of the CenPro predictions effectiveness was divided into three homogeneous subperiods: 1980-1995, 1996-2001 and 2002-2020

Key Words: Time series, Structural Analysis, Change Point, Forecast Verification, Effectiveness.

INTRODUCCIÓN

Un quiebre estructural en una serie de datos, es una alteración de los modelos que habitualmente son utilizados para representar un fenómeno determinado; es decir que un cambio estructural se presenta cuando existe alguna modificación inesperada en los parámetros a lo largo de una serie temporal de observaciones (Pérez, 1995). La búsqueda de cambios estructurales es de interés general en la investigación económica y financiera.

No obstante, en el análisis del comportamiento de los resultados de la verificación de las predicciones del tiempo emitidas por el Centro de Pronósticos (CenPro en lo adelante), resulta de suma importancia para poder determinar cuál de las metodologías y/o regionalizaciones implementadas pudieron provocar una alteración en el comportamiento de la efectividad de los pronósticos. Por otra parte, la identificación de los cambios estructurales podrá aportar nuevos elementos al levantamiento realizado por (Valderá & Sarmientos, 2021) sobre las modificaciones de la metodología de verificación de los pronósticos del tiempo en Cuba.

*Autor para correspondencia: nathali.valdera@insmet.cu

Recibido: 20/02/2023

Aceptado: 28/03/2023

MATERIALES Y MÉTODOS

Información utilizada

Se emplearon los datos de los resúmenes mensuales y trimestrales de la verificación de las predicciones del tiempo emitidas por el Centro de Pronósticos válidos entre los años 1980 y 2020. Dada las diversas maneras de presentación de los datos, fue necesario la digitalización de la información correspondiente al periodo 1980-2000, existente en papeles impresos y mecanografiados, algunos de ellos en mal estado y de difícil lectura. A partir del año 2001 y hasta el 2015, los resultados de la verificación se encontraron en formato digital (*.txt y *.DAT) y se utilizaron los resúmenes mensuales y diarios. Desde agosto de 2016 el software oficial para la verificación de los pronósticos emitidos por el Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología trabaja con la arquitectura cliente-servidor. De ahí que para la extracción de los resultados del periodo 2016-2020, se recurrió al uso de consultas en SQL.

Procedimiento para el análisis estructural de la serie “Efectividad de los pronósticos del CenPro”

El tema relacionado con la detección de cambios y rupturas estructurales es un procedimiento de amplia aplicación consiste en obtener las regresiones lineales para cada periodo, ubicando un punto de cambio para dividir los datos en dos subconjuntos y luego comparar ambas regresiones. Este procedimiento es conocido como prueba de Chow (Gujarati & Porter, 2010), uno de los primeros tests ideados para este fin y posiblemente el más conocido según (Pérez, 1995). (Chow, 1960) se utiliza para probar una sola ruptura en la media en un periodo de tiempo conocido. Esta prueba divide la muestra en dos subperiodos, para luego comparar la suma de errores al cuadrado de la muestra completa con la suma de errores al cuadrado obtenidas de cada una de los subperiodos como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\frac{RSS_r - (RSS_1 + RSS_2)}{k}}{\frac{RSS_1 + RSS_2}{n - 2k}} \quad (1)$$

Donde:

RSS_r : es la suma de errores al cuadrado de la regresión completa

RSS_i : es la suma de los errores al cuadrado de cada una de las submuestras

k : es el número de parámetros en la ecuación

n : es el tamaño de la muestra

Con esto se obtiene un F estadístico que tiene una distribución F con $(k, n-2k)$ grados de libertad para contrastar la hipótesis nula, la cual plantea la no existencia de cambio estructural en la fecha dada.

En el caso de la serie conformada por los resultados de la verificación de los pronósticos del CenPro, se conocen los años en los que se introdujeron los mayores cambios en el proceso de verificación, dígame del 2000 y 2016, aunque en el 1986, 1989 y 1993 se introdujeron modificaciones en la regionalización. Bajo estas circunstancias la prueba de Chow no es aplicable ya que se estaría buscando la existencia de posibles múltiples puntos de cambios. Asimismo, se asumió el desconocimiento del año en el cual ocurrió la ruptura estructural previendo que el reflejo de la modificación ocurra cierto tiempo antes o después del punto de cambio. De igual manera, esta es otra de las restricciones de la prueba de Chow, la cual solo se aplica a modelos con un punto de ruptura conocido y donde la varianza del error se mantiene constante antes y después de la ruptura.

Por otra parte, (Sánchez, 2008) plantea que existe una diferencia al utilizar pruebas y procedimientos de estimación de cambios múltiples en lugar de procedimientos para cambios simples, de manera que cuando existen cambios múltiples, el poder de las pruebas para un único cambio puede ser muy bajo (Bai & Perron, 2003). Por todas estas razones es que se descarta la aplicación de la prueba de Chow. En este contexto, (Bai & Perron, 1998,2003) desarrollaron diferentes métodos para la estimación simultánea de múltiples rupturas de una serie temporal. El algoritmo para lograr este fin fue descrito en (Bai & Perron, 2003) y en su primera instancia considera una regresión lineal múltiple tal y como se muestra a continuación:

$$y_t = x_t \beta + z_t \delta_1 + u_t \quad t = 1, \dots, T_1 \quad (2)$$

$$y_t = x_t \beta + z_t \delta_2 + u_t \quad t = T_1 + 1, \dots, T_2$$

$$y_t = x_t \beta + z_t \delta_{(m+1)} + u_t \quad t = T_{(m+1)} + 1, \dots, T$$

Donde:

m : es el número de puntos de rupturas en $m + 1$ segmentos

y_t : es la variable dependiente observada en el tiempo t

x y z : son los vectores de covarianzas

β y δ : son los correspondientes vectores de coeficientes.

u_t : es la perturbación en el tiempo t

La prueba de Bai-Perron incluye además procedimientos secuenciales y otros basados en criterios de información. Una vez identificado el primer punto de cambio significativo, la muestra se divide en dos submuestras, separadas por el primer punto de cambio estimado. Para cada submuestra, se estima un modelo con un cambio y en cada una el segundo punto de cambio significativo es elegido a partir del punto previo, de tal forma que se minimice la suma de residuales ajustada.

La implementación de este algoritmo aparece en múltiples paquetes estadísticos tales como R (librería strucchange), software utilizado en su obtención me-

diante el RStudio, y su formulación es tal y cual se describe en (Zeileis et. al., 2003).

Herramientas y tecnologías computacionales utilizadas

Los softwares empleados en la realización de la investigación fueron mayoritariamente libres y/o de código abierto.

- **PostgreSQL v.9.3:** Sistema Gestor de Base de Datos, de código abierto y multiplataforma. Para su funcionamiento se necesitó también del PgAdmin III, software que permite la manipulación de la información almacenada en un servidor de base de datos de PostgreSQL. Ambas herramientas fueron utilizadas de conjunto en la realización de consultas para la extracción de los resultados de la verificación de los pronósticos del tiempo de los periodos 2016-2020 y 2017-2020 contenidos en la base de datos del SIVER.
- **Spyder y RStudio:** Entornos de desarrollo integrado utilizados en la programación de rutinas y procedimientos estadísticos para los lenguajes Python y R respectivamente. Se utilizaron en la estadística descriptiva, en el análisis estructural de la serie de la efectividad de las predicciones del CenPro y en el diseño de los gráficos del informe.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la estructura de la serie de efectividad de las predicciones del CenPro

En este trabajo se aplicó la prueba de Bai-Perron para investigar cambios estructurales mediante la identificación de puntos de inestabilidad de los parámetros en el conjunto de datos de la efectividad de las predicciones emitidas por el CenPro durante el periodo 1980-2020. En la figura 1 se muestra la data histórica a procesar.

Para examinar el supuesto de normalidad de los datos, en la tabla 1 se proporciona un resumen de las estadísticas descriptivas. Los datos utilizados para este análisis corresponden a todo el periodo muestreado. La serie de la efectividad parece estar distribuidas normalmente como se puede verificar a partir de la media y la mediana, que están cerca unas de otras. Lo anterior se corroboró con la aplicación de la prueba de Shapiro-Wilk, destinada a comprobar la normalidad de una variable. El test de Shapiro-Wilks plantea como hipótesis nula que una muestra proviene de una

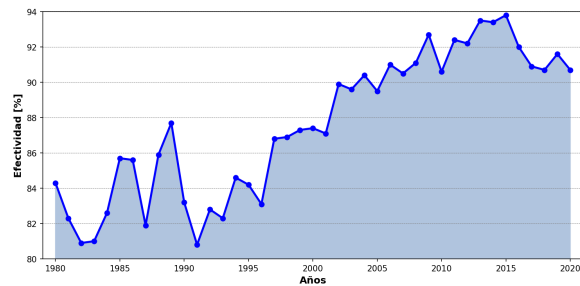


Fig. 1. Efectividad de las predicciones del CenPro entre los años 1980 y 2020.

distribución normal; se seleccionó un nivel de significación de 0.01. Como hipótesis alternativa se sostiene que la distribución no es normal. El estadístico de la prueba obtenido es de 0.9312 con una probabilidad de 0.0158, valor superior al 0.01 prefijado. Por esta razón se acepta la hipótesis nula y se concluye que la muestra presenta una distribución Gaussiana o Normal. Además, la asimetría está próxima a 0, mientras que la curtosis está más cerca de -2.

Antes de la aplicación de la prueba de Bai-Perron se asume como hipótesis nula la no existencia de cambio estructural de la serie en cuestión. El $F_{\text{estadístico}}=125.79$ con una probabilidad inferior a $2.2e-16$. Como el valor obtenido es inferior al nivel de significación del 1 % ($\alpha=0.01$), entonces se rechaza la hipótesis nula y se plantea la existencia de cambios estructurales en la data histórica de la verificación del CenPro.

Bai-Perron arrojó cinco posibles puntos de ruptura en los años 1985, 1996, 2002, 2008 y 2015. La prueba realizada sugiere tres segmentos como número óptimo de segmentos de la recta de regresión, lo que se correspondería con dos puntos de ruptura de la serie. Ello puede constatarse en la figura 2, en la cual se puede apreciar el Criterio de Información Bayesiano (BIC) o Criterio de Información de Schwarz y la Suma Residual de los Cuadrados (RSS) para diferentes puntos de quiebre en la serie analizada. El RSS tiende a ser mínimo cuando existe algún punto de cambio en la serie de tiempo y el BIC es una función creciente de la varianza de la variable dependiente, la efectividad en este caso en particular. Por lo tanto, al elegir el número definitivo de puntos de cambio, se prefieren los que tengan un RSS y el BIC más bajo. Como se muestra en la figura 4, el BIC mínimo se alcanza en el segundo punto de ruptura los cuales se corresponden con los años 1996 y 2002 respectivamente. De esta manera, se concuerda con la propuesta del test automático de Bai-Perron ejecutado en RStudio.

Tabla 1. Estadística descriptiva de la efectividad de las predicciones del tiempo emitidas por el CenPro entre los años 1980 y 2020

Media	87.6	Asimetría	-0.18
Mediana	87.4	Curtosis	-1.68
Desv. Est.	4.0	Coef. Variación	4.58%
Sesgo	-0.51	No. Observaciones	42

También la prueba de Bai-Perron estima el intervalo de confianza que refleja la incertidumbre originada en el proceso de la determinación de los puntos de ruptura de una serie de tiempo. En la **figura 3** pueden apreciarse los intervalos de confianza al 99% arrojados por la prueba estadística aplicada. Para el año 1996 el intervalo de confianza va desde 1995 hasta 1999 mientras que para el 2002 abarca desde el año 2000 hasta el 2003.

Entre 1995 y 1999, según lo planteado por (Valderá & Sarmientos, 2021), no se tienen registros de cambios realizados en la metodología de la verificación ni en la regionalización. Sin embargo, los resultados observados pudieran estar relacionados con el avance científico-tecnológico en el sector meteorológico, en particular aquellos relacionados con una mayor utilización de las imágenes de los satélites meteorológicos como una herramienta para el pronóstico del tiempo, la cual comenzó a introducirse en Cuba en los años 90, principalmente en la segunda mitad de esta década. Esta nueva herramienta, dotó al Sistema Meteorológico Nacional de información en tiempo real de un área extensa en la que se puede observar y analizar la evolución de los fenómenos del tiempo atmosférico; que conllevó a un incremento de la efectividad de las predicciones.

Por otra parte, el periodo comprendido entre los años 2000 al 2003 se caracterizó por los cambios metodológicos introducidos por (Portela, 2000), de ahí que sea evidente el impacto de esta modificación metodológica y del proceso de adaptación de los especialistas a dichos cambios. No obstante, resulta interesante el hecho que los cambios introducidos en el 2016 con el procedimiento de (Moya et al., 2013), no mostraron una repercusión significativa en el comportamiento de la efectividad de las predicciones del CenPro, al menos por la extensión de la serie de 1980 al 2020. De igual manera, tampoco tuvo repercusión la reforma realizada en la segunda mitad de la década de los 80. Respecto al cambio estructural del 2008 se necesita indagar con una mayor profundidad pues puede corresponderse con transformaciones realizadas en la verificación de las que aún no se tiene conocimiento.

De esta manera, el conjunto de datos de la efectividad de las predicciones presenta dos cambios estructurales (1996, 2002), quedando dividido en los subperiodos enmarcados por los siguientes años: 1980-1995, 1996-2001 y 2002-2020 (**Fig. 4**).

CONCLUSIONES

- Se logró aplicar exitosamente la prueba de Bai-Perron para la identificación de múltiples cambios estructurales en la data histórica de la verificación.
- La efectividad de las predicciones que a corto plazo han sido emitidas por el Centro de Pronósticos del Tiempo desde el año 1980, manifestó dos cambios significativos en su comportamiento en los años

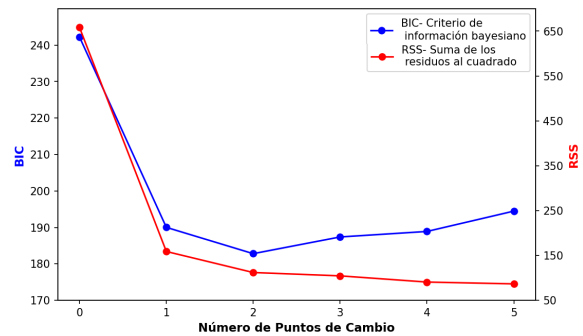


Fig. 2. Criterios de información bayesianos (BIC) y suma residual de cuadrados (RSS) para los datos de efectividad de las predicciones del CenPro (1980-2020).

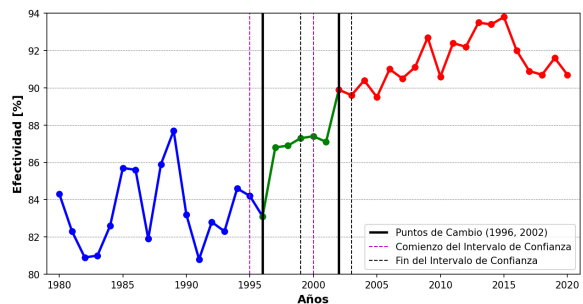


Fig. 3. Puntos de ruptura e intervalos de confianza obtenidos por la prueba de Bai-Perron para los datos de efectividad de las predicciones del CenPro (1980-2020).

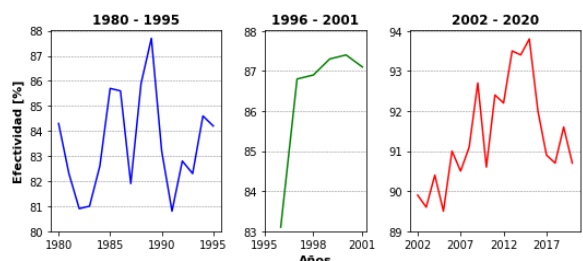


Fig. 4. Efectividad anual de los pronósticos del tiempo emitidos por el CenPro en los periodos 1980-1995, 1996-2001 y 2002-2020.

1996 y 2002, dividiendo la serie en tres subperiodos: 1980-1995, 1996-2001 y 2002-2020.

- El intervalo de confianza para el año 1996 abarca desde 1995 hasta 1999 mientras que para el 2002 comprende desde el año 2000 hasta el 2003.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAI, J. (1997). Estimating multiple breaks one at a time. *Econometric Theory*, 13 (03): 315-352. DOI: [10.1017/S0266466600005831](https://doi.org/10.1017/S0266466600005831).

BAI, J. & PERRON, P. (1998). Estimating and testing linear models with multiple structural changes. *Econometrica*, 66 (1): 47-78. DOI: [10.2307/2998540](https://doi.org/10.2307/2998540).

BAI, J. & PERRON, P. (2003). Computation and analysis of multiple structural change models.

- Journal of Applied Econometrics, 18 (1): 1-22.
DOI: [10.2307/30035185](https://doi.org/10.2307/30035185).
- CHOW, G.C. (1960). Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica*, 28 (3): 591-605.
DOI: [10.2307/1910133](https://doi.org/10.2307/1910133).
- GUJARATI, D.N. & PORTER, D.C. (2010). *Econometría*, 5^a ed. Editorial McGraw-Hill. México, 921 p. ISBN: 978-607-15-0294-0.
- MOYA, A.S.; ESTRADA, A.; BALLESTER, M. & González, C. (2013). Evaluación de los pronósticos del tiempo a corto plazo. Informe de Resultado Científico, Resultado 3, Proyecto Evaluación de los Pronósticos del Tiempo, Instituto de Meteorología INSMET, La Habana, Cuba, 55 p.
- PÉREZ, J. (1995). Tratamiento econométrico del cambio estructural: el método de estimación paramétrica ponderada. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid. España, 317 p. ISBN: 978-84-693-2791-3.
- PORTELA, M.A. (2000). Metodología del Sistema Nacional de Evaluación de los Pronósticos del Tiempo. Instituto de Meteorología INSMET. La Habana, Cuba, 20 p.
- SÁNCHEZ, P.A. (2008). Cambios estructurales en series de tiempo: Una revisión del estado del arte. *Ingenierías*, 7 (12): 115-140. ISSN: 1692-3324.
- VALDERÁ, N. & SARMIENTOS, M. (2021). Modificaciones de la metodología de verificación de los pronósticos del tiempo en Cuba. Informe de Resultado Científico, Resultado 2, Proyecto Verificación de los Pronósticos del Tiempo en Cuba. Instituto de Meteorología INSMET. La Habana, Cuba, 40 p.
- ZEILEIS, A.; KLEIBER, CH.; KRÄMER, W. & HORNIK, K. (2003). Testing and Dating of Structural Changes in Practice. *Computational Statistics and Data Analysis*, 44 (1-2): 109-123.
DOI: [10.1016/S0167-9473\(03\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(03)00030-6).

Conflicto de interés: declaramos, no tener ningún conflicto de interés

Contribución de autoría: Concepción de la idea: Nathalí Valderá-Figuero. **Manejo de los datos:** Eileen González-Fraguela. **Análisis de los datos:** Nathalí Valderá-Figuero y Eileen González-Fraguela. **Investigación:** Nathalí Valderá-Figuero y Eileen González-Fraguela. **Metodología:** Nathalí Valderá-Figuero. **Supervisión:** Nathalí Valderá-Figuero. **Validación de los resultados:** Eileen González-Fraguela y Nathalí Valderá-Figuero.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)