ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of
ZBW
Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Cortés Espada, Josué Fernando; Sámano, Daniel; Gutiérrez Villanueva, Rubí T.

Working Paper

Dinámica de la inflación en México: Un análisis de wavelets

Working Papers, No. 2019-17

Provided in Cooperation with:
Bank of Mexico, Mexico City

Suggested Citation: Cortés Espada, Josué Fernando; Sámano, Daniel; Gutiérrez Villanueva, Rubí T. (2019) : Dinámica de la inflación en México: Un análisis de wavelets, Working Papers, No. 2019-17, Banco de México, Ciudad de México

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/240685

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Banco de México

Documentos de Investigación

Banco de México

Working Papers

N° 2019-17

Dinámica de la Inflación en México: Un Análisis de Wavelets

Josué Fernando Cortés Espada
Banco de México

Daniel Sámano
Banco de México

Rubí T. Gutiérrez Villanueva
Banco de México

Diciembre 2019

La serie de Documentos de Investigación del Banco de México divulga resultados preliminares de trabajos de investigación económica realizados en el Banco de México con la finalidad de propiciar el intercambio y debate de ideas. El contenido de los Documentos de Investigación, así como las conclusiones que de ellos se derivan, son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente las del Banco de México.

The Working Papers series of Banco de México disseminates preliminary results of economic research conducted at Banco de México in order to promote the exchange and debate of ideas. The views and conclusions presented in the Working Papers are exclusively the responsibility of the authors and do not necessarily reflect those of Banco de México.

Documento de Investigación
2019-17

Working Paper
2019-17

Dinámica de la Inflación en México: Un Análisis de Wavelets*

Josué Fernando Cortés Espada†
Banco de México

Daniel Sámano‡
Banco de México

Rubí T. Gutiérrez Villanueva§
Banco de México

Resumen: En este documento se utiliza la metodología de wavelets para estudiar la dinámica de la inflación en México en diferentes frecuencias de tiempo. Así, en primer lugar, se presenta un análisis del comportamiento de las variaciones mensuales del INPC, del Índice de Precios Subyacente y del No Subyacente durante el periodo de enero de 2007 a diciembre de 2018. Posteriormente, se muestra que los choques a los que estuvo expuesta la inflación general en el año 2017 estuvieron principalmente asociados a los componentes de alta frecuencia sin haber generado cambios en su componente de baja frecuencia.
Palabras Clave: Inflación, Descomposición wavelet, Varianza wavelet, Tendencia inflacionaria

Abstract: This paper uses the wavelet methodology to analyze the dynamics of inflation in Mexico at different frequencies over time. First, we analyze the monthly behavior of the headline, core, and non-core inflation from January 2007 to December 2018. Subsequently, the decomposition shows that the shocks on headline inflation in 2017 were mainly associated with the high-frequency component and they did not generate changes in its low-frequency component.
Keywords: Inflation, Wavelet decomposition, Wavelet variance, Trend inflation
JEL Classification: C19, C49, C65, E31

*Agradecemos a Alejandrina Salcedo por sus excelentes comentarios y sugerencias. Todos los errores y omisiones son nuestros.

† Dirección General de Investigación Económica. Email: jfcortes@banxico.org.mx.

‡ Dirección General de Investigación Económica. Email: dsamano@banxico.org.mx.

§ Dirección General de Investigación Económica. Email: rubi.gutierrez@banxico.org.mx

1. Introducción

Algunos estudios sobre las propiedades estadísticas de la inflación tienen como objetivo determinar si los choques a los que ha estado sujeta la inflación tienen efectos transitorios o permanentes sobre esta. En el caso de México se han realizado varios estudios para describir la dinámica de la inflación, encontrando cambios en la persistencia de la serie. Por ejemplo, Capistrán y Ramos-Francia (2009) mostraron en su trabajo empírico que los niveles de inflación en los 10 principales países de América Latina, en el periodo de 1980 a 2006, sufrieron varios cambios en sus dinámicas como consecuencia de los cambios en la política monetaria de cada país. Más específicamente, Chiquiar et al. (2010) detectaron que la inflación en México registró un cambio en su persistencia a principios del año 2001, después de la adopción del esquema de objetivos de inflación, convirtiéndose en un proceso estacionario.

Por su parte, Ysusi (2009) estudió la dinámica de inflación general usando el análisis wavelet con datos desde febrero de 1969 a junio de 2009. La metodología wavelet consiste esencialmente en descomponer una serie de tiempo en un conjunto de series de tiempo en el mismo dominio asociadas a diferentes frecuencias, permitiendo estimar una serie con componentes de baja frecuencia, movimientos estacionales y cíclicos. En dicho trabajo, la autora muestra que desde 2001 las series de inflación general y subyacente en México exhiben un comportamiento estable.

Fue hasta después de la década de los ochenta que el análisis wavelet comenzó a ser usado en diferentes aplicaciones de ingeniería, matemáticas, biología, entre otras.[1] Sin embargo, el uso del análisis wavelet en la investigación económica ha sido relativamente poco explotado. Entre las principales aplicaciones que se han realizado se encuentra la investigación de Ramsey y Lampart (1998a) y Ramsey y Lampart (1998b) que, a partir de la descomposición de variables económicas, encontraron distintas relaciones de causalidad según la frecuencia de la descomposición. Trabajos más recientes que utilizan el análisis

[1] A principios del siglo XX Alfred Haar introdujo el concepto de wavelet en su tesis doctoral pero no fue hasta la década de los ochenta cuando Grossmann y Morlet (1984) establecieron el concepto de wavelet. Años después el desarrollo de la teoría wavelet tuvo un avance crucial con el concepto "Análisis Multirresolución" presentado en Mallat (1989a) y Mallat (1989b).

wavelet incluyen a Baqaee (2010), y Cotter y Dowd (2006) que estiman una medida de inflación subyacente para Nueva Zelandia y Estados Unidos, respectivamente.

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de las variaciones mensuales de la inflación general, subyacente y no subyacente, así como los componentes que integran estos dos últimos para el periodo comprendido entre enero de 2007 y diciembre de 2018, mediante el uso de wavelets como en el documento de Ysusi (2009). En particular, mediante esta metodología se ilustrará en las distintas frecuencias de tiempo la dinámica de la inflación durante 2017, ya que durante este año la economía estuvo sujeta a diversos choques, entre los que destacan la depreciación del tipo de cambio, incrementos en los precios de los productos agropecuarios y en particular los aumentos en los precios de las gasolinas y del gas L.P., los cuales contribuyeron en buena medida a que la inflación general anual cerrara dicho año en 6.77%. Los resultados del análisis sugieren que los choques referidos afectaron principalmente a los componentes de alta frecuencia, ya que los de baja frecuencia, si bien se incrementaron a inicios de 2017, presentaron una trayectoria decreciente desde mediados de ese año.

Cabe mencionar que la serie que representa los cambios a corto plazo tanto para la inflación general y no subyacente es más volátil en comparación con la correspondiente a la inflación subyacente. En específico, los choques que afectaron a la inflación durante 2017 se ven reflejados en dicho componente de la inflación general y en la no subyacente. Por su parte, la serie que representa los cambios estacionales de la inflación general y de la no subyacente no presentó, durante el periodo de análisis, cambios significativos en magnitud o periodicidad. Cabe agregar que los cambios estacionales en la inflación subyacente no cuentan con un comportamiento regular como resultado de la composición del índice subyacente. Es importante resaltar que el componente de baja frecuencia para la inflación general, subyacente y no subyacente exhibieron una tendencia a la baja desde mediados de 2017, a pesar de los cambios que se presentaron en el índice de los agropecuarios al final del 2018.[2]

[2] En la Gráfica 12 se observan los cambios que afectaron a la inflación de los agropecuarios a finales el 2018. Así las Gráficas 12 panel (b) y (d) reflejan dichos cambios, casi al final de la muestra, a corto y, en menor grado, a mediano plazo, respectivamente.

Por otra parte, el análisis de descomposición de la varianza muestra que los movimientos de la inflación subyacente son explicados en su mayoría por el componente de baja frecuencia. En contraste, la variación de la inflación no subyacente es explicada por los componentes de alta frecuencia y por movimientos estacionales. Por su parte, en el caso de la inflación general, aproximadamente 50% de la varianza es explicada por el componente de baja frecuencia. Asimismo, la descomposición de la varianza no presentó cambios significativos en la proporción de la varianza explicada por cada uno de sus componentes, antes y después de los choques mencionados en 2017, lo que sugiere que estos no alteraron el proceso de formación de precios en México.

El documento se organiza de la siguiente forma. En la segunda sección se presenta una breve introducción del análisis de wavelets. En la sección tres se analiza el comportamiento de la descomposición de la inflación mensual del INPC y de sus subíndices. Posteriormente, se muestra la descomposición de las varianzas del INPC y de sus subíndices a distintas frecuencias. En la sección cuatro se presentan las conclusiones.

2. Análisis Wavelet: Una Introducción

En esta sección se aborda de manera introductoria el desarrollo matemático de la teoría wavelet.[3] Este análisis consiste básicamente en describir una serie de tiempo mediante funciones deterministas. Dichas funciones, por definición, toman la forma de pequeñas ondas. Así, estas ondas funcionan como filtros que extraen información asociada a diferentes frecuencias. En particular, esta metodología permite estimar de un componente de baja frecuencia, los movimientos estacionales y cíclicos, así como las fluctuaciones de corto plazo.

Cabe señalar que a finales de 1980 el desarrollo matemático del análisis wavelet llegó a su cúspide y empezó a ser usado en las ciencias aplicadas. Entre las aplicaciones más comunes se encuentran la descomposición de fractales, las soluciones de ecuaciones di-

[3] Para un estudio riguroso sobre el tema consultar Chui (2016), Daubechies (1992), Mallat (1999), Nason (2010), Rua (2012), Schleicher (2002), y Vidakovic y Mueller (1994).

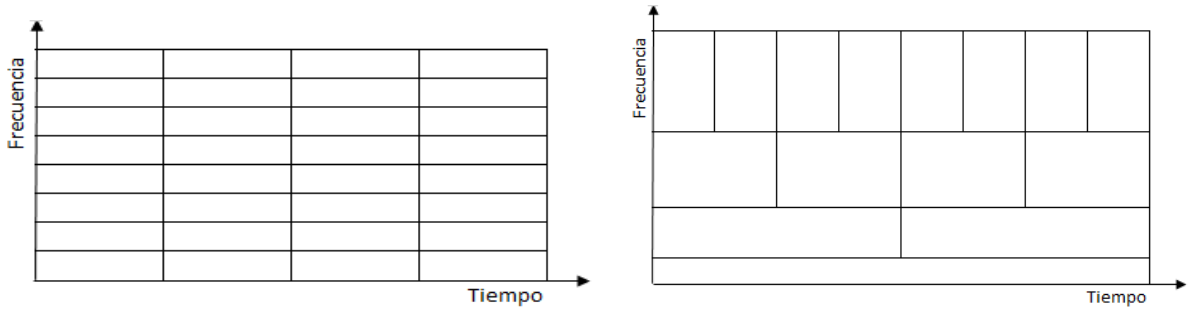
ferenciales parciales, el procesamiento y mejoramiento de imágenes, el reconocimiento de voz, así como aplicaciones en la meteorología, la ingeniería y la estadística. Aún así, el uso del análisis wavelet en la economía no tiene una presencia tan importante, aunque este cuente con numerosas propiedades que pueden ser usadas en el análisis de series de tiempo. Entre las principales propiedades del análisis wavelet que son útiles para el análisis de series de tiempo se encuentran su uso en series no estacionarias, la identificación de anormalidades en la serie y que a partir de este análisis se puede obtener una buena aproximación a la serie original.

Entre los primeros estudios que utilizan la teoría de wavelet para descomponer series de tiempo economicas se encuentran los trabajos de Ramsey y Lampart (1998a) que aprovechan las propiedades de las wavelets para identificar la relación que existe entre la oferta de dinero y el ingreso en distintas frecuencias, encontrando que en bajas frecuencias la oferta de dinero causa al ingreso, mientras que en altas frecuencias existe bi-causalidad. Otros trabajos relevantes en este campo son los realizados por Lahura (2004), Ramsey (1999), Ramsey y Lampart (1998b), Schleicher (2002). Por su parte, Baqaee (2010), y Cotter y Dowd (2006) usan el análisis wavelet para proponer, como se mencionó, una medida de inflación subyacente para Nueva Zelandia y Estados Unidos, respectivamente. Para datos de la economía mexicana, la aplicación más destacada es la realizada por Ysusi (2009) quién estudia la dinámica de la inflación en México, encontrando que la inflación general y subyacentes tienen dinámicas estables en las series asociadas a cada frecuencia a partir del 2001.

2.1. Definición

Como se mencionó, la teoría wavelet surge como una herramienta matemática e ingenieril que permite describir una señal (serie de tiempo) a lo largo del tiempo en distintas frecuencias. Es similar al análisis de Fourier pero con diferencias notorias. Por una parte, el análisis de Fourier toma en cuenta rangos constantes en el dominio del tiempo y frecuencia. Por el contrario, el análisis wavelet toma en cuenta rangos de tiempo distintos para cada una de las frecuencias, haciendo que las frecuencias de baja magnitud abarquen un rango mayor en el tiempo en comparación con las frecuencias altas (ver Gráfica 1). Esta

notoria diferencia hace que el análisis de Fourier se realice en rangos de tiempo y frecuencia determinados, mientras que el análisis wavelet permite dividir el tiempo en función de las frecuencias teniendo mayor resolución de la serie original.



(a) Análisis de Fourier

(b) Análsis Wavelet

Gráfica 1: Plano de tiempo vs frecuencia para el análisis de Fourier y para el análisis wavelet

En general, las funciones wavelet, ψ, tienen la propiedad de generar el espacio $L^2(\mathbb{R})$, es decir, el espacio del producto interno de las funciones medibles en $\mathbb{R}$. Este tipo de funciones permiten representar a $\mathbb{R}$ en el espacio tiempo-frecuencia y son utilizadas en diversas áreas de estudio. La "traslación" es una de las formas más comunes de aplicar este tipo de funciones para cubrir el dominio de $\mathbb{R}$, y a diferencia de las "ondas senoidales" que solo pueden representar las frecuencias, estas también representan el tiempo.[4]

Para modelar la inflación, y siguiendo a Ysusi (2009), se utilizan funciones que transforman frecuencias en cambios binarios, de tal modo que la función pueda transformarse en pequeñas ondas de la forma

$$\psi(2^j t - k) \qquad \text{para toda } j, k \in \mathbb{Z} \text{ y } t = 1, 2, \ldots, T \tag{1}$$

donde j y k representan la propiedad de "dilatación" y traslación, respectivamente. Esta función todavía no puede ser una base ortonormal generadora del espacio L^2 sobre $\mathbb{R}$ para lo cual se normaliza y se transforma en

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2}\psi(2^j t - k) \qquad \text{para } j, k \in \mathbb{Z} \tag{2}$$

[4]Para un desarrollo más riguroso del tema consultar Chui (2016) y Gençay et al. (2001).

Esta última función es conocida con el nombre wavelet madre. Además del factor de traslación y dilatación, el termino 2^j es llamado el *factor de escala*, el cual expande el intervalo de la onda wavelet, es decir, cuando j es grande la onda es más amplia mientras que cuando j es muy pequeña la onda es más corta.

En el análisis wavelet existen dos formas generales de onda wavelet, la madre ψ y la padre ϕ con las siguientes características:

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2}\psi(2^j t - k) \text{ con } \int \psi(t)dt = 0, \tag{3}$$

$$\phi_{J,k}(t) = 2^{J/2}\phi(2^J t - k) \text{ con } \int \phi(t)dt = 1. \tag{4}$$

Así, la wavelet padre representa la suavidad o componente de baja frecuencia de las series, además de estar asociada a valores grandes de j, lo cual implica que puede cubrir todo el rango temporal de la serie de tiempo en intervalos más grandes de tiempo. Por su parte, la wavelet madre representa las fluctuaciones de alta frecuencia, que corresponden a valores pequeños de j, lo cual implica que cubre todo el rango temporal en pequeños intervalos de tiempo.

2.2. Análisis Multirresolución

El análisis multirresolución es una herramienta de la descomposición wavelet que ayuda a representar una serie de tiempo en términos de la descomposición por frecuencias. Así, este análisis permite expresar una serie de tiempo como una suma simple de componentes que corresponden a frecuencias específicas. Los componentes S_J y D_j se expresan como funciones de la wavelet padre y madre, respectivamente. Por un lado,

$$D_j = \sum_k d_{j,k}\psi_{j,k}(t)$$

representa la j-ésima descomposición asociada a la j-ésima frecuencia de la serie x_t. Dichas descomposiciones representan las desviaciones del componente de baja frecuencia, asociadas a movimientos de corta duración. Por otro lado,

$$S_J = \sum_k s_{J,k}\phi_{J,k}(t)$$

representa la descomposición asociada al componente de baja frecuencia de la serie. Además, caracteriza los movimientos de larga duración o con mayor escala temporal. Así, los coeficientes que se utilizan en las descomposiciones están expresados como

$$s_{J,k} = \int_{-\infty}^{\infty} x_t \phi_{J,k}(t)dt$$

$$d_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} x_t \psi_{j,k}(t)dt \qquad j = 1, 2, \ldots, J$$

Con base en lo anterior, el análisis multirresolución se basa en la idea de obtener la mejor aproximación de una serie de tiempo. Así, la aproximación S_{J-1} representa una mejor representación de la serie de tiempo que S_J. La diferencia entre las aproximaciones, $D_J = S_{J-1} - S_J$, es llamada *detalle*. Dado esto, la aproximación S_{J-1} puede expresarse como la suma de una aproximación con menor precisión más un detalle $S_{J-1} = S_J + D_J$.

De esta forma una aproximación a una serie de tiempo puede expresarse como $x_t = S_1 + D_1$; sustituyendo el valor de S_1 la aproximación es expresada como $x_t = S_2 + D_2 + D_1$. Repitiendo el procedimiento anterior, la serie de tiempo será expresada como la suma de S_J y los diferentes detalles D_j

$$x_t = D_1 + D_2 + D_3 + \ldots + D_J + S_J \tag{5}$$

De esta forma se tiene que la serie x_t puede reconstruirse como

$$\begin{aligned} x_t &= D_1 + D_2 + D_3 + \ldots + D_J + S_J \\ &= \sum_k d_{1,k}\psi_{1,k}(t) + \sum_k d_{2,k}\psi_{2,k}(t) + \ldots + \sum_k d_{J,k}\psi_{J,k}(t) + \sum_k s_{J,k}\phi_{J,k}(t) \end{aligned}$$

donde J denota la máxima escala temporal de la descomposición wavelet. En particular, el detalle D_1 representa la descomposición de la serie de tiempo entre los periodos temporales de 2 a 4 meses. Por su parte, el detalle D_2 denota la descomposición en frecuencias de 4 a 8 meses. En general, el detalle D_j representa la descomposición de la serie en

movimientos de frecuencia de 2^j a 2^{j+1} meses.

2.3. Descomposición de Varianza

El análisis wavelet también tiene la propiedad de descomponer la varianza total de una serie como la suma de las varianzas explicadas por cada una de las frecuencias. En particular, la varianza σ_x^2 de una serie de tiempo x_t puede descomponerse según el número de escalas temporales como:

$$\sigma_x^2 = \sum_{j=1}^{J} \sigma_{x,j}^2$$

donde $\sigma_{x,j}^2$ representa varianza en la frecuencia j. Por definición, la varianza wavelet asociada a la frecuencia j es la varianza de los coeficientes correspondientes a dicha frecuencia

$$\sigma_{x,j}^2 = var\{d_{j,t}^2\}$$

Así el estimador insesgado de la varianza wavelet se calcula como:[5]

$$\tilde{\sigma}_{x,j}^2 = \frac{1}{N_j} \sum_{t=1}^{N} d_{j,t}^2$$

donde N_j no siempre será igual al número de observaciones y dependerá de la base utilizada y el número de frecuencias en las que se descomponga la serie. Así, $\sigma_{x,j}^2$ es simplemente la varianza de los coeficientes estimados en la frecuencia j. En consecuencia, la varianza de la serie es estimada como

$$\sigma_x^2 = \sum_{j=1}^{J} \frac{1}{N_j} \sum_{t=1}^{N} d_{j,t}^2 + \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N} s_{J,t}^2 \tag{6}$$

3. Análisis de la Inflación en México

Con el objetivo de analizar los efectos de los diversos choques a los que ha estado expuesta la economía de México en los últimos años, se realiza la descomposición wavelet de la evolución mensual de la inflación general, subyacente y no subyacente, así como de los

[5] La estimación hace que los coeficientes al final de la muestra no sean afectados.

componentes que integran a estos dos últimos.

La base wavelet utilizada para llevar a cabo la descomposición de las frecuencias es la que corresponde a la base Daubechies menos asimétrica de longitud 8, LA(8). Esta base es la menos asimétrica de su familia y hace posible identificar observaciones atípicas al mismo tiempo.[6] La descomposición usada también tiene como propiedad la reflexión de las series originales, es decir, es posible calcular una serie de longitud $2N$ (cuando la longitud de la serie original es de N) que se refleja sobre ella misma. Esto tiene como objetivo preservar la continuidad de la descomposición wavelet en los extremos de la serie original.

Por su parte, la base wavelet utilizada para la descomposición de la varianza es la base Haar.[7] En esta sección se utilizó el paquete *waveslim* en *R* para obtener las descomposiciones wavelet de la inflación mensual.[8]

En el presente trabajo se analizan las frecuencias de 2 a 8 meses, los cuales se interpretan como fluctuaciones de corto plazo; las frecuencias de 8 a 16 meses representan los movimientos estacionales; las frecuencias de 16 a 32 meses explican los movimientos de mediano plazo y las mayores de 32 meses caracterizan al componente de baja frecuencia o tendencia.[9,10] Así, la suma de estas frecuencias da como resultado la variación mensual del índice de precios.

Ysusi (2009) analizó la inflación general mensual para el periodo de febrero de 1969 a junio de 2009 y como se mencionó, a partir del año 2001 las frecuencias comenzaron a ser más estables, lo cual coincide con el cambio en la persistencia de la inflación detectado por Chiquiar et al. (2010). En el mismo trabajo Ysusi (2009) analizó la sub-muestra de

[6]Base propuesta en Daubechies (1992), asimismo, Cornish et al. (2006) y Gençay et al. (2001) mostraron que dicha base descompone la serie en detalles suaves en comparación a la base Haar.

[7]La estimación de la varianza está basada en los resultados obtenidos por Percival y Guttorp (1994). Los coeficientes de la base wavelet Haar son menos afectados al final de la muestra en comparación con otras bases.

[8]Paquete desarrollado por Brandon Whitcher disponible en `https://cran.r-project.org/web/packages/waveslim/index.html`

[9]Para las frecuencias de 2 a 8 meses se agregaron las frecuencias de 2 a 4 meses y de 4 a 8 meses.

[10]Como resultado del factor de escala empleado se obtienen frecuencias que son potencia de dos, lo cual da lugar a esta descomposición e interpretación.

enero de 2000 a junio de 2009 encontrando que la baja frecuencia se hallaba en valores mensuales congruentes con una inflación general anual cercana a 3% a principios de 2006, sin embargo, esta comenzó a aumentar de mediados de 2006 en adelante. Para el análisis actual se utilizan datos de la inflación mensual para el índice general y sus componentes para el periodo enero de 2007 a diciembre de 2018.[11]

Como se puede apreciar en las gráficas, la inflación general y la no subyacente son más volátiles y presentan una estacionalidad más marcada que la inflación subyacente. Adicionalmente, se puede observar cómo diversos eventos afectaron a la inflación a distintas frecuencias; por ejemplo, las modificaciones fiscales de enero de 2010 y de 2014, así como los choques que impactaron a la economía durante 2017, entre los que destacan la depreciación del tipo de cambio, los incrementos en los precios de los productos agropecuarios y, en particular, los aumentos en los precios de la gasolina y del gas L.P.

3.1. Evolución de la Inflación y Descomposición mediante Wavelets

La Gráfica 2 ilustra las fluctuaciones de la inflación general a distintas frecuencias. Se puede apreciar al principio de la muestra que el componente de baja frecuencia se alejó de una inflación mensual consistente con una inflación general anual de 3%. Esta dinámica se debe principalmente a cambios en los precios de las mercancías alimenticias y los productos agropecuarios (ver Gráfica 6 y 12, respectivamente) durante los años 2008 y 2009. Después de este periodo dicho componente se encontró en niveles muy cercanos al referido nivel. De igual manera, la frecuencia que representa la estacionalidad parece constante después del año 2014.[12]

Asimismo, en la Gráfica 2 panel (d), se observa que la serie que representa a los cam-

[11] Ysusi (2009) mostró que el componente baja frecuencia sufrió un aumento desde mediados del 2006 hasta 2009. Esto último como consecuencia del aumento en los precios internacionales de los productos básicos y la depreciación del peso. En el presente trabajo la muestra comienza en enero de 2007 resaltando que el componente de baja frecuencia regresó a niveles estables después de los eventos antes mencionados.

[12] Conforme a los resultados obtenidos en Ysusi (2009) el comportamiento de la estacionalidad es constante en la muestra seleccionada (ver Gráfica 2 panel (c)), sin embargo, parece que existe un cambio a finales del año 2012 como consecuencia del comportamiento de la inflación no subyacente (ver Gráfica 4).

bios de mediano plazo parece haber sido afectada por los choques que impactaron a la economía durante 2017, entre los que destacan la depreciación del tipo de cambio, los incrementos en los productos agropecuarios y, en particular, los aumentos en los precios de la gasolina y gas L.P. Más aún, se aprecia que después de dichos cambios la serie mostró una tendencia a la baja y que posteriormente, hasta la segunda parte de 2018, la serie vuelve a reflejar cambios que afectaron a la inflación general. Dichos cambios fueron consecuencia de un aumento en el precio de los productos agropecuarios.[13]

Por su parte, los choques que impactaron a la economía durante 2017 se ven reflejados en el componente de baja frecuencia. Aun así, este componente mostró una tendencia a la baja desde mediados del 2017, sin verse afectada por los incrementos en precios que dieron origen a un repunte en la inflación general durante 2018.

La Gráfica 3 representa la evolución de la inflación subyacente a distintas frecuencias. Se puede apreciar que el componente de alta frecuencia es menos volátil que el de la inflación general. Asimismo, el componente estacional de la inflación subyacente es menos marcado que el de la general.[14] Se destaca el cambio en el componente de baja frecuencia al inicio de la muestra producto de la dinámica de precios que sufrieron las mercancías alimenticias (ver Gráfica 6). Finalmente, el componente de alta frecuencia se encontró hacia el final de la muestra cerca de sus niveles promedio, mientras que el componente de baja frecuencia de este indicador presentó una trayectoria a la baja desde mediados del 2017.

En la Gráfica 4 se observa el comportamiento de la inflación no subyacente. En la alta frecuencia se aprecia el comportamiento volátil que caracteriza a los cambios en los precios de los productos agropecuarios (ver Gráfica 12). Asimismo, la frecuencia que caracteriza a la estacionalidad muestra periodicidad y magnitud constante a lo largo de la muestra. Por otra parte, el componente de baja frecuencia mostró cambios en su comportamiento a lo largo de la muestra.

[13]En la Gráfica 12 se observa un aumento al final de la muestra, el cual se ve reflejado en las series que representan los cambios a corto plazo y a mediano plazo.

[14]Los resultados mostrados por Ysusi (2009) muestran un comportamiento similar en dichos componentes atribuyendo este comportamiento a los cambios de mediano y largo plazo que incorpora la inflación subyacente.

Cabe destacar que a principios del año 2007 el componente de baja frecuencia presentó un aumento hasta finales del 2008, lo cual se debe al cambio en los precios de los productos agropecuarios (afectados por el incremento de los precios internacionales de diversas materias primas). De modo similar, el mismo componente comenzó a mostrar una tendencia creciente a principios del 2011 como consecuencia de un alza en los precios de las frutas y verduras. Así, el componente de baja frecuencia se mantuvo en niveles altos debido al aumento de los precios de algunos productos pecuarios durante el año 2013.

Más aún, el comportamiento de la inflación no subyacente propició el incremento de la inflación general mensual durante 2017, en particular, los aumentos en los precios de la gasolina y del gas L.P. Estos últimos cambios se vieron claramente reflejados en el componente de baja frecuencia de los energéticos (ver Gráfica 16). Si bien estos precios presentaron una disminución en los meses posteriores, es notorio que el componente de baja frecuencia de la inflación no subyacente mantuvo valores superiores a aquellos perteneciente a la inflación general y la subyacente. Esto último se debe a que la inflación no subyacente fue afectada por cambios en los productos agropecuarios casi al final de la muestra.

Es importante destacar que, a pesar de los choques enfrentados durante el año 2017, el componente de baja frecuencia, tanto para la inflación general como para la inflación subyacente, mostró una trayectoria a la baja desde mediados del 2017 (ver la Gráfica 2e y 3e). Ello es una manifestación de que se han venido disipando los choques que afectaron a la inflación. Por su parte, destaca que si bien la serie de baja frecuencia de la inflación no subyacente también disminuyó, esta se encuentra en niveles superiores a la inflación general, toda vez que, como se mencionó, fue receptor directo de los choques derivados del aumento de varios precios, entre los que se encuentran los de los agropecuarios y energéticos.

Cabe mencionar que la descomposición wavelet realizada por Ysusi (2009) mostró al final de la muestra un cambio en el componente de baja frecuencia de la inflación general,

subyacente y no subyacente. El cambio se presentó a partir del segundo semestre de 2006 y refleja el alza de los precios internacionales de productos básicos así como la depreciación del peso a finales del 2008 y durante el 2009. La descomposición actual muestra que dicho cambio perduró hasta principios del año 2010 (ver Gráfica 2e, 3e y 4e).

3.2. Descomposición de la Varianza

En esta sección se presenta la descomposición de la varianza mediante las frecuencias utilizadas en la descomposición de wavelets. En particular, se identifica el porcentaje de la volatilidad de la inflación que es atribuida a cada una de las frecuencias. En el Cuadro 1 se presenta el porcentaje de la varianza explicada para cada escala de tiempo utilizando la muestra de enero de 2007 a diciembre de 2018. La descomposición se estima para la inflación general, subyacente y no subyacente. En contraste, Ysusi (2009) calculó dicha varianza para el periodo de enero de 2001 a junio de 2009.

Se observa en el Cuadro 1 que el 26% de la varianza de la inflación general es explicada por las variaciones de alta frecuencia, similar al 25% encontrado por Ysusi (2009). Asimismo, las variaciones en la estacionalidad explican el 15% de la varianza en la inflación general en comparación con el 11% para la muestra de 2001 a 2009. Es importante destacar que las variaciones en el componente de baja frecuencia explican actualmente el 55% de la varianza de la inflación general en contraste con el 61% estimado por Ysusi (2009). El aumento en la varianza explicada por los movimientos estacionales y la disminución de los movimientos de baja frecuencia se deben principalmente a la importancia que ha adquirido el componente estacional en la inflación general. Adicionalmente, la distribución de la varianza explicada en la inflación subyacente y la no subyacente para el periodo de análisis es similar a la muestra de Ysusi (2009).

Cuadro 1: Descomposición de la varianza.

Frecuencia	**Inflación General**	**Inflación Subyacente**	**Inflación No Subyacente**
2 - 8 meses	0.26	0.11	0.50
8 - 16 meses	0.15	0.03	0.27
16 - 32 meses	0.04	0.02	0.07
más de 32 meses	0.55	0.84	0.16

Nota: La varianza de cada escala es expresada como la proporción de variación explicada de enero 2007 a diciembre 2018.
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Los cálculos presentados en el Cuadro 1 dan un panorama general de la distribución de la varianza a corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, los resultados no reflejan los cambios en la distribución a lo largo de la muestra. Para este último análisis se calcula la distribución en ventanas móviles de 3 años.[15] Los resultados se presentan en las Gráficas 18, 19 y 20, en los cuales se observa que 50% de la volatilidad de la inflación general, al final de la muestra, es explicada por el componente de baja frecuencia (frecuencia mayor a 32 meses). El resto de la varianza se explica principalmente por los movimientos de corto plazo y por el componente estacional. Es importante mencionar que la distribución de la varianza al final de la muestra es similar a lo presentado en periodos anteriores.

En lo que se refiere a la inflación subyacente, cerca del 85% de su varianza, durante toda la muestra, se encuentra explicada por el componente de baja frecuencia, mientras que el resto de frecuencias explican solamente el 15%, a excepción del periodo de 2014 a 2016 donde la descomposición de la varianza explicada sufrió cambios como consecuencia de las modificaciones a la política fiscal de 2014. Por su parte, en los últimos meses de muestra, la volatilidad en la inflación no subyacente es explicada en cerca del 75% por los cambios a corto plazo y el componente estacional.

[15] Una ventana de tres años permite analizar el efecto de nuevos choques sobre la varianza de la inflación al mismo tiempo que elimina parte de la volatilidad.

Un aspecto importante es la diferencia entre las distribuciones de las varianzas. Por una parte, los resultados muestran que la inflación no subyacente responde a choques de corto plazo y cambios en la estacionalidad. Por otra parte, la inflación subyacente refleja cambios en el componente de baja frecuencia. Así, la inflación general responde a cambios tanto de corto como de largo plazo. Cabe destacar que la descomposición de la varianza no presentó cambios significativos en la proporción de varianza explicada por cada uno de sus componentes, antes y después de los choques mencionados en 2017, lo que sugiere que estos no alteraron el proceso de formación de precios en México.

4. Conclusiones

Es común que la inflación sea afectada por distintos choques a lo largo del tiempo, los cuales podrían desviarla de su objetivo de manera transitoria, pero también es posible que los choques sean de tal magnitud que la desviación sea más importante y que el regreso a la meta lleve mayor tiempo. En este contexto, las características técnicas que ofrece la metodología de descomposición de la inflación mediante wavelets hace posible su utilización como una herramienta complementaria en el análisis de la evolución de la inflación. En particular, parece ser útil para estudiar la naturaleza de estas desviaciones al identificar las afectaciones de los choques a distintas frecuencias de la inflación.

Los resultados derivados de la descomposición en wavelets utilizada en este documento para el caso de México corroboran que, si bien hasta 2018 la inflación general estuvo expuesta a diversos choques, estos afectaron su evolución fundamentalmente en la alta frecuencia. Dado que los choques más importantes que afectaron a la inflación durante 2017 fueron los incrementos en los precios de los productos agropecuarios y los aumentos en los precios de la gasolina y del gas L.P., el componente no subyacente es el que tuvo un impacto más notable, sobre todo en su alta frecuencia.

En contraste, a pesar de los choques que impactaron a la economía durante 2017, entre los que destacan la depreciación del tipo de cambio, los incrementos en los precios de los productos agropecuarios y, en particular, los aumentos en los precios de la gasolina y del gas

L.P., si bien incrementaron el componente de baja frecuencia tanto de la inflación general como de la inflación subyacente a inicios de 2017, estos mostraron una tendencia decreciente desde mediados de dicho año. Ello es muestra de que se han venido desvaneciendo los efectos de los choques que afectaron ambos indicadores. Por su parte, destaca que, si bien el componente de baja frecuencia de la inflación no subyacente también disminuyó desde mediados de 2017 después de haber alcanzado niveles muy elevados a mediados de dicho año, este disminuyó a una menor velocidad que el correspondiente a la inflación general, toda vez que, como se mencionó, fue el receptor directo de la mayoría de los choques que impactaron a la inflación durante 2017 y 2018.

A pesar del potencial de análisis con el que cuentan las wavelets, sigue siendo una herramienta poco usada en estudios de los fenómenos económicos. Así, es posible ampliar la aplicación del análisis wavelet. Por ejemplo, el análisis wavelet podría evaluar la posible relación en distintas frecuencias de variables macroeconómicas con la inflación general. Asimismo, las propiedades del análisis wavelet hacen posible generar una medida de tendencia de la inflación subyacente para México.

Referencias

Baqaee, D. (2010). Using wavelets to measure core inflation: The case of New Zealand. *The North American Journal of Economics and Finance*, *21*(3), 241–255.

Capistrán, C., y Ramos-Francia, M. (2009). Inflation dynamics in Latin America. *Contemporary Economic Policy*, *27*(3), 349–362.

Chiquiar, D., Noriega, A. E., y Ramos-Francia, M. (2010). A time-series approach to test a change in inflation persistence: the Mexican experience. *Applied Economics*, *42*(24), 3067–3075.

Chui, C. K. (2016). *An introduction to wavelets*. Elsevier.

Cornish, C. R., Bretherton, C. S., y Percival, D. B. (2006). Maximal overlap wavelet statistical analysis with application to atmospheric turbulence. *Boundary-Layer Meteorology*, *119*(2), 339–374.

Cotter, J., y Dowd, K. (2006). U.S. Core Inflation: A Wavelet Analysis.

Daubechies, I. (1992). *Ten lectures on wavelets* (Vol. 61). SIAM.

Gençay, R., Selçuk, F., y Whitcher, B. J. (2001). *An introduction to wavelets and other filtering methods in finance and economics*. Elsevier.

Grossmann, A., y Morlet, J. (1984). Decomposition of hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. *SIAM Journal on Mathematical Analysis*, *15*(4), 723–736.

Lahura, E. (2004). La relación dinero-producto, brecha del producto e inflación subyacente: algunas aplicaciones de las funciones wavelets. *Revista Estudios Económicos*(11).

Mallat, S. (1989a). Multiresolution approximations and wavelet orthonormal bases of $\mathrm{l}^2(r)$. *Transactions of the American Mathematical Society*, *315*(1), 69–87.

Mallat, S. (1989b). A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*(7), 674–693.

Mallat, S. (1999). *A wavelet tour of signal processing*. Elsevier.

Nason, G. (2010). *Wavelet methods in statistics with R*. Springer Science & Business Media.

Percival, D. B., y Guttorp, P. (1994). Long-memory processes, the Allan variance and

wavelets. En *Wavelet analysis and its applications* (Vol. 4, pp. 325–344). Elsevier.

Ramsey, J. B. (1999). The contribution of wavelets to the analysis of economic and financial data. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *357*(1760), 2593–2606.

Ramsey, J. B., y Lampart, C. (1998a). Decomposition of economic relationships by timescale using wavelets. *Macroeconomic Dynamics*, *2*(1), 49–71.

Ramsey, J. B., y Lampart, C. (1998b). The decomposition of economic relationships by time scale using wavelets: expenditure and income. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, *3*(1).

Rua, A. (2012). Wavelets in economics. *Economic Bulletin and Financial Stability Report Articles and Banco de Portugal Economic Studies*.

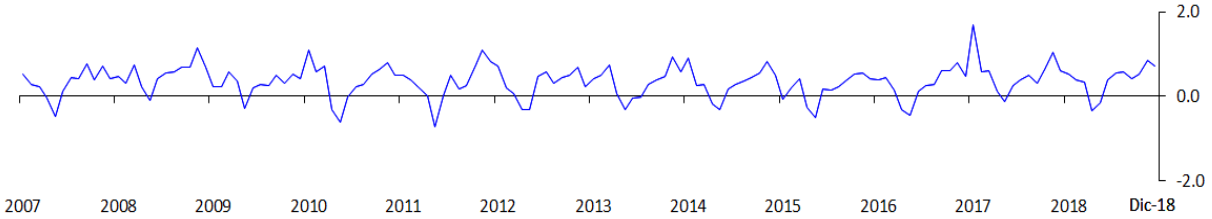
Schleicher, C. (2002). An introduction to wavelets for economists.

Vidakovic, B., y Mueller, P. (1994). Wavelets for kids. *Instituto de Estadística, Universidad de Duke*.

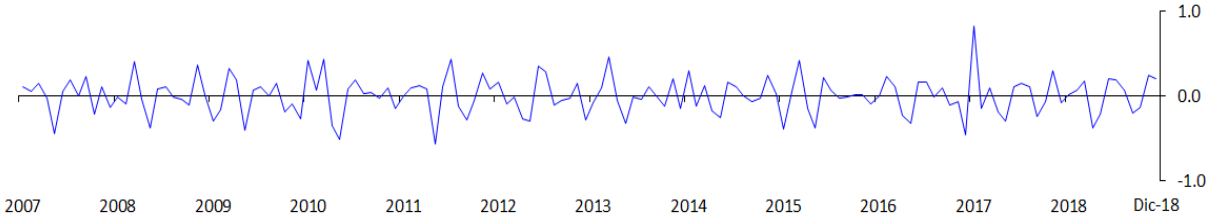
Ysusi, C. (2009). Análisis de la dinámica de la inflación en México usando wavelets. *Documento de Investigación*, *(2009-09)*, Banco de México.

Gráfica 2: Descomposición Wavelets: Inflación General

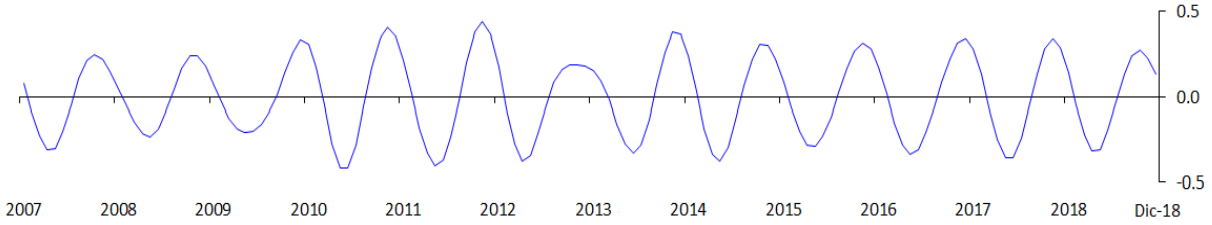
(a) Inflación Mensual General[16]
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



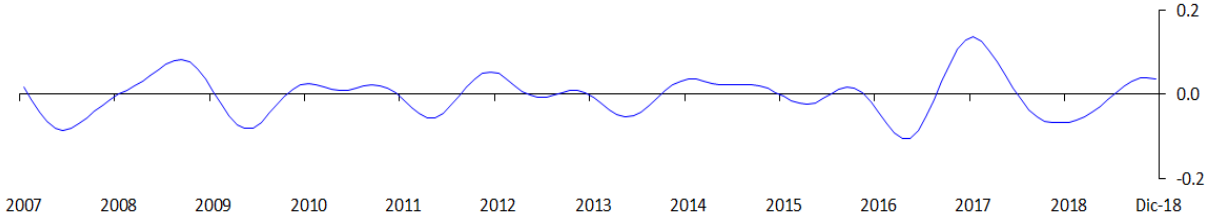
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



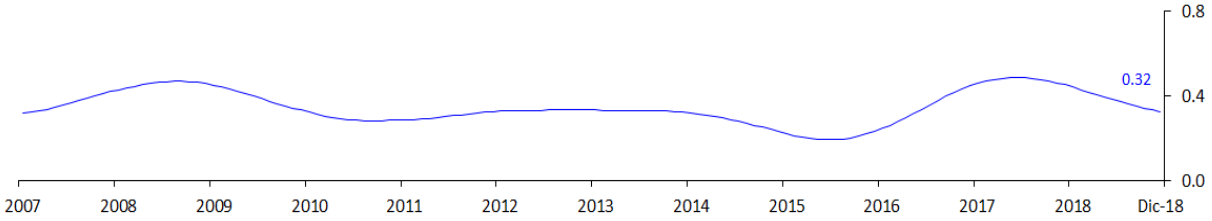
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)

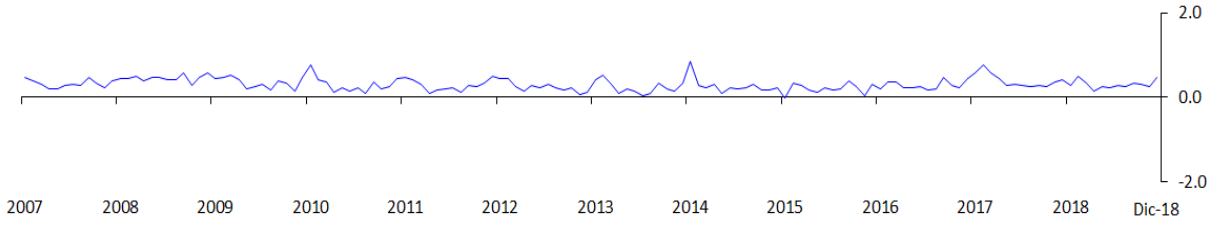


Cálculos de los autores con datos de INEGI.

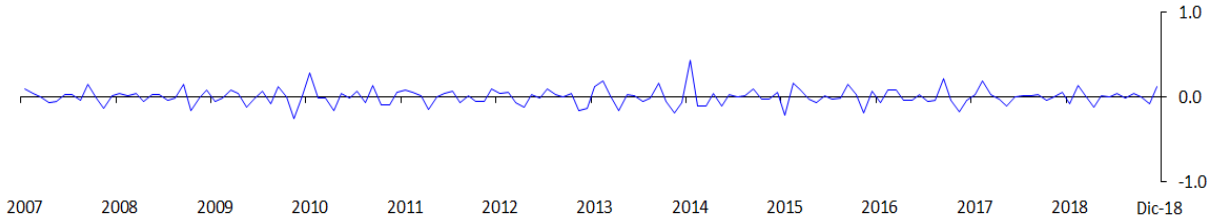
[16]La suma de los detalles de la descomposición wavelet da como resultado la inflación mensual.

Gráfica 3: Descomposición Wavelets: Inflación Subyacente

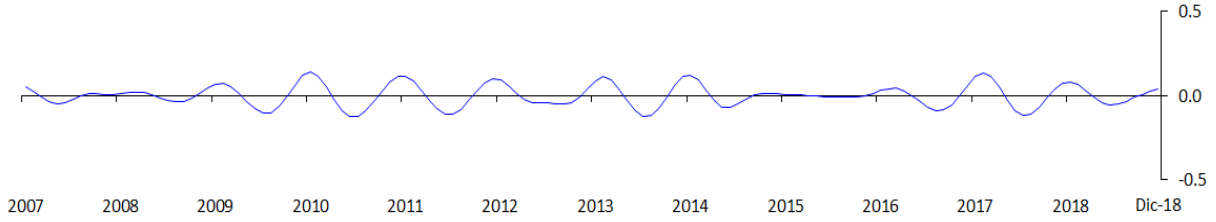
(a) Inflación Mensual Subyacente
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



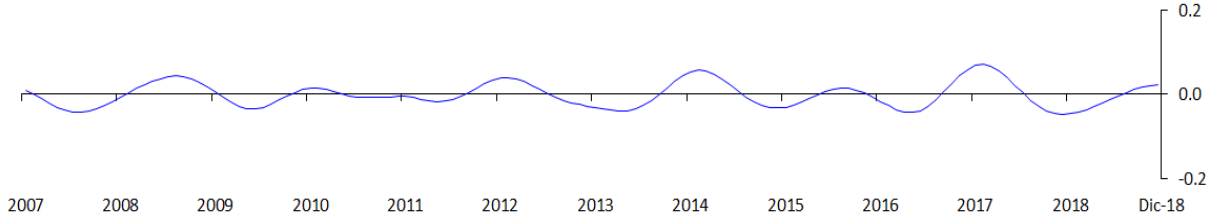
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



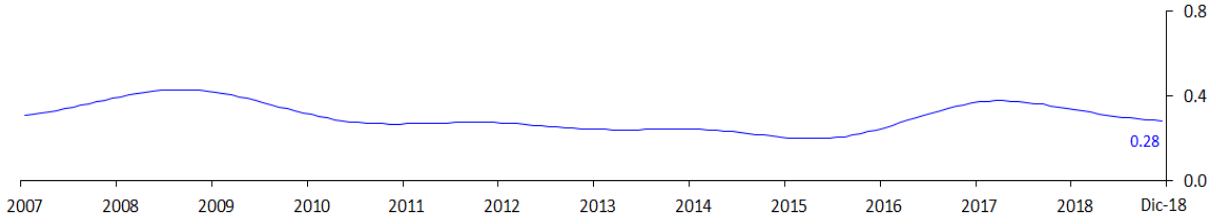
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



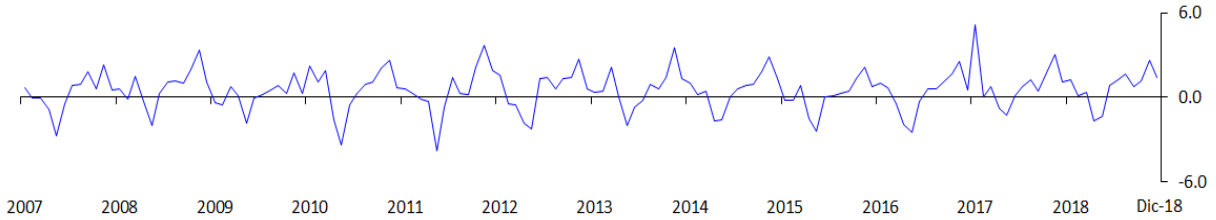
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



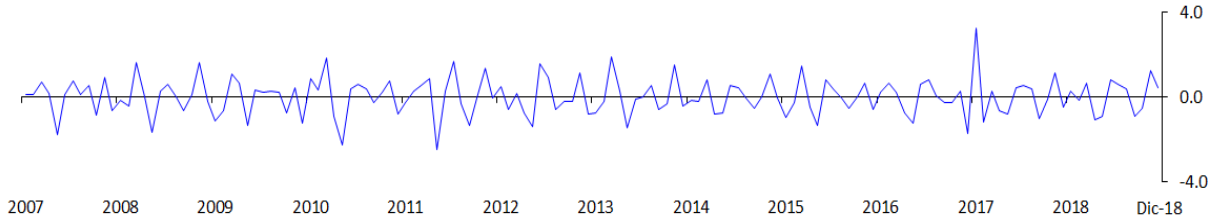
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 4: Descomposición Wavelets: Inflación No Subyacente

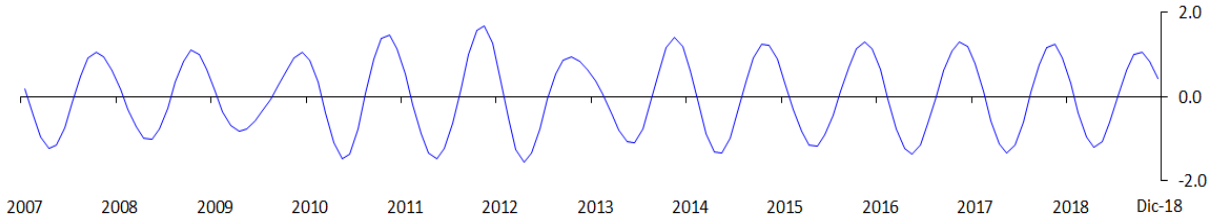
(a) Inflación Mensual No Subyacente
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



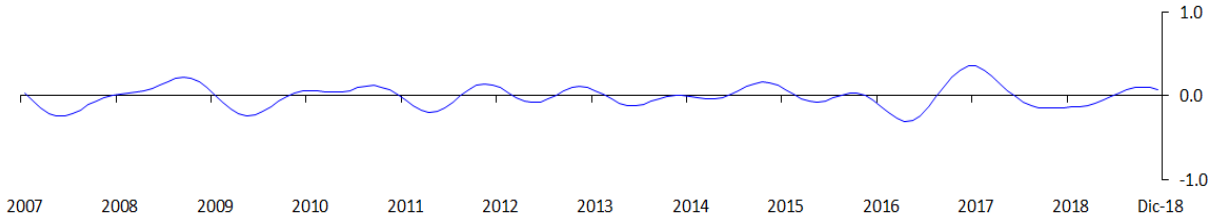
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



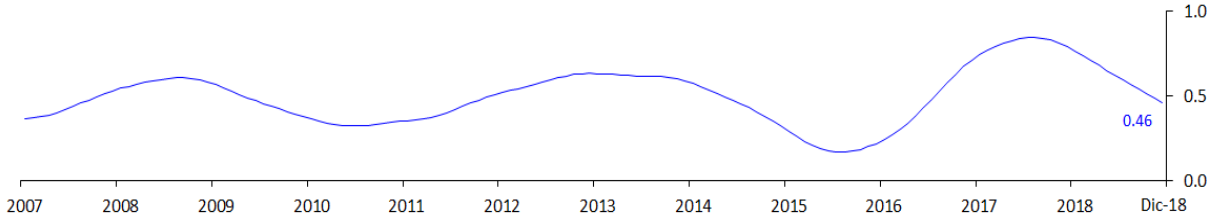
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



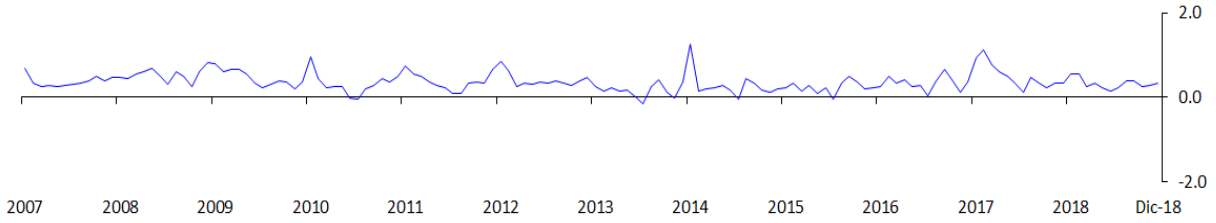
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



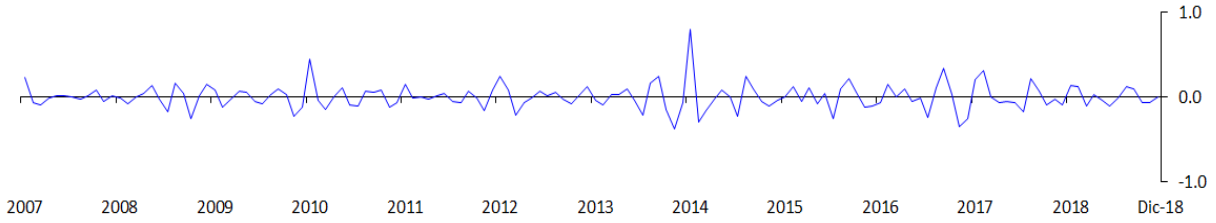
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 5: Descomposición Wavelets: Inflación de las Mercancías

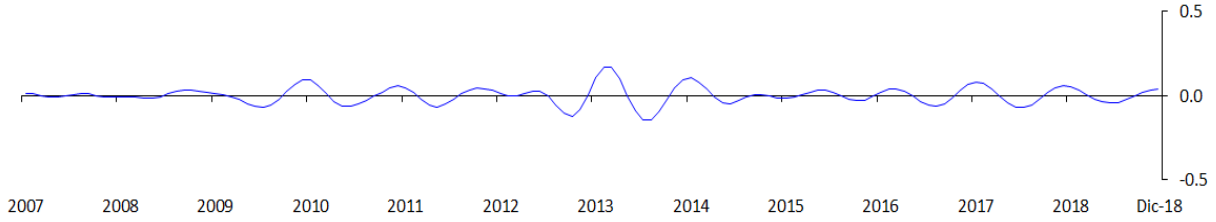
(a) Inflación Mensual de las Mercancías
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



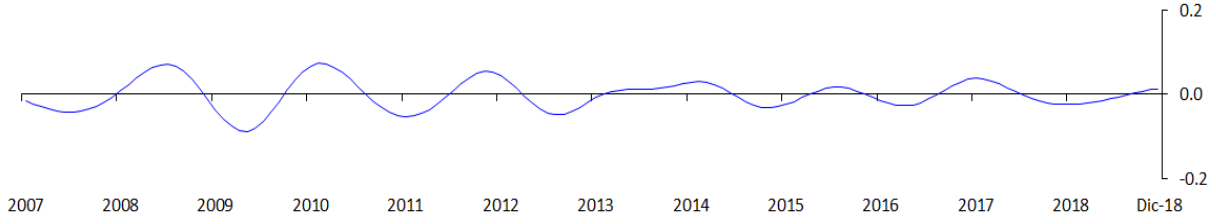
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



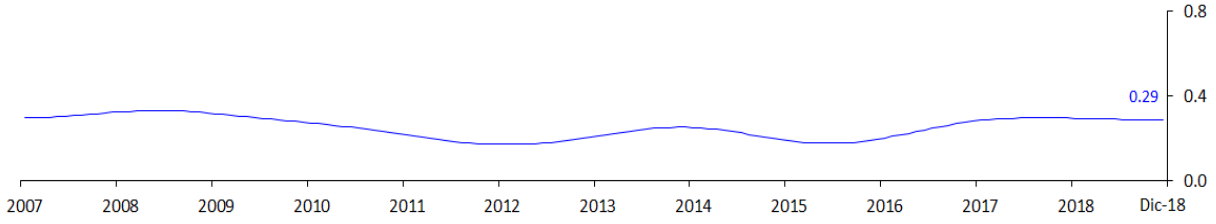
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



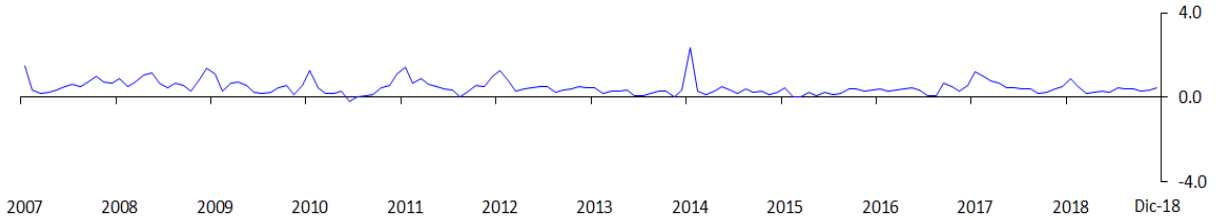
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



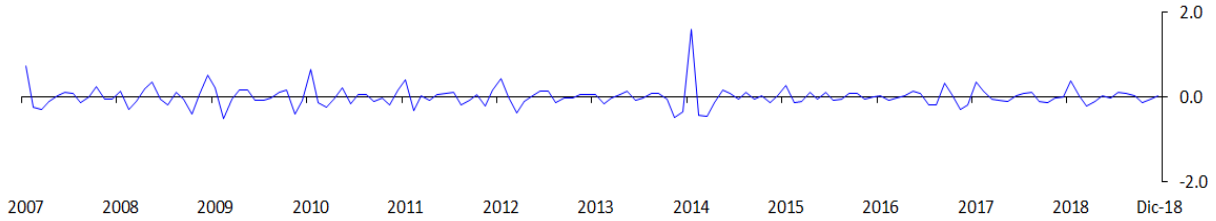
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 6: Descomposición Wavelets: Inflación de las Mercancías Alimenticias

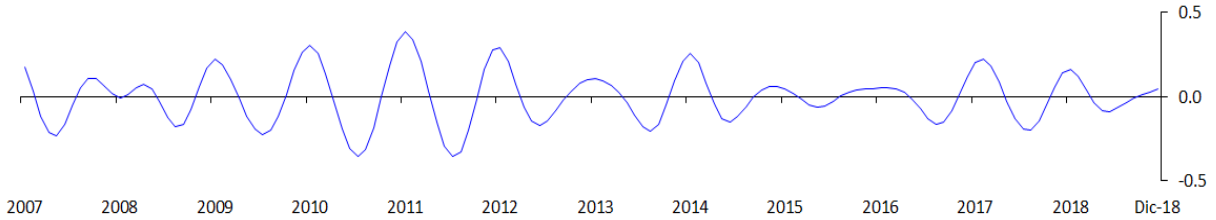
(a) Inflación Mensual de las Mercancías Alimenticias
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



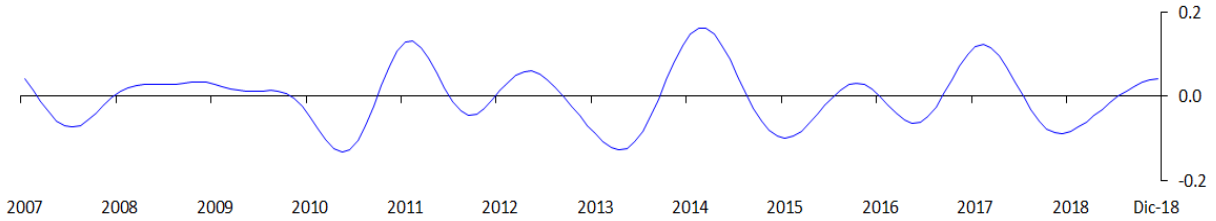
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



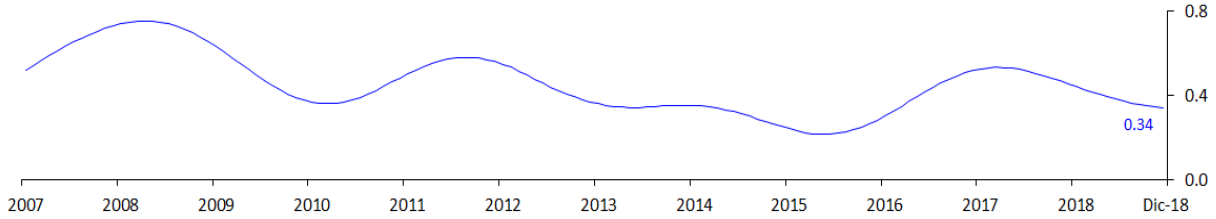
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



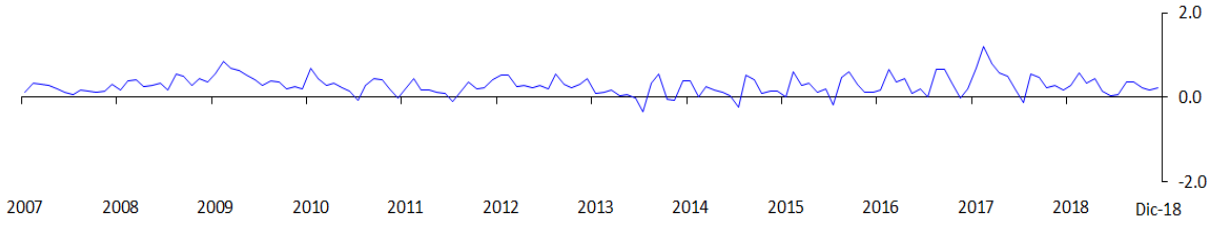
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



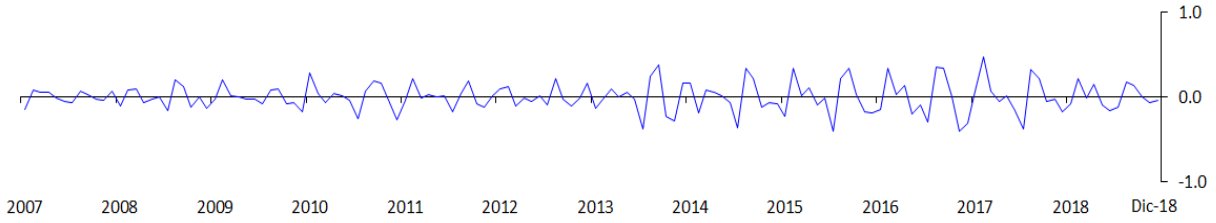
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 7: Descomposición Wavelets: Inflación de las Mercancías no Alimenticias

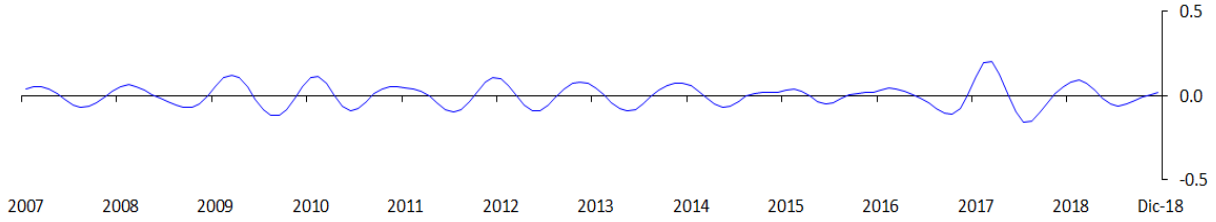
(a) Inflación Mensual de las Mercancías no Alimenticias
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



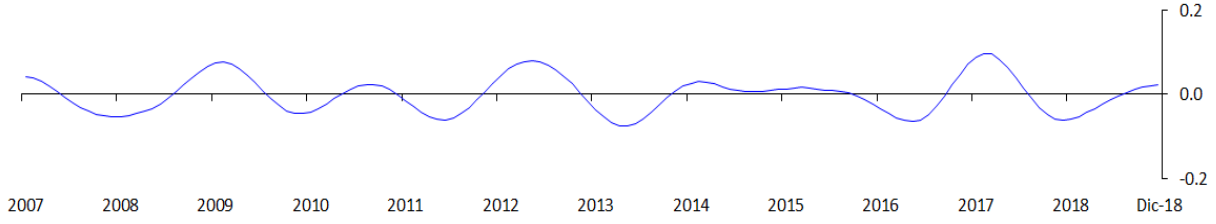
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



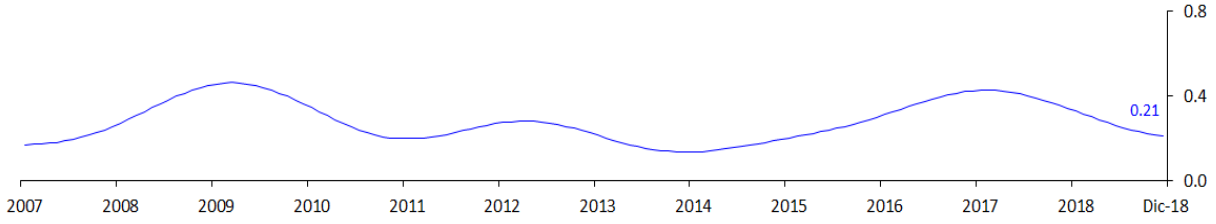
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



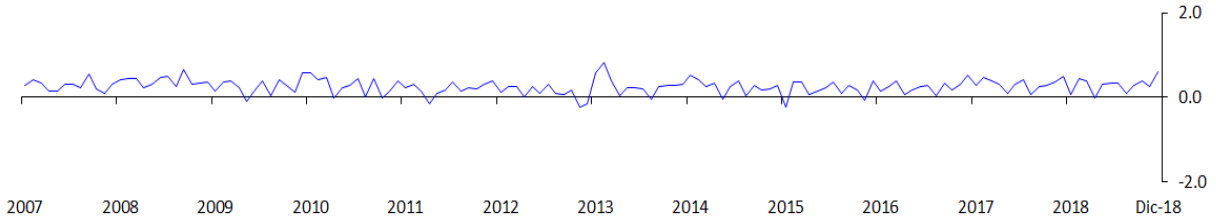
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



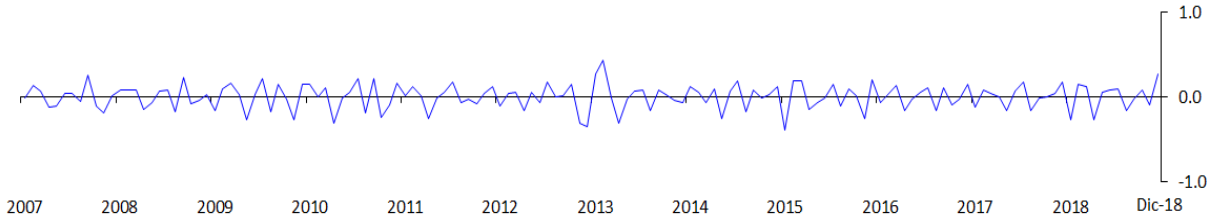
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 8: Descomposición Wavelets: Inflación de los Servicios

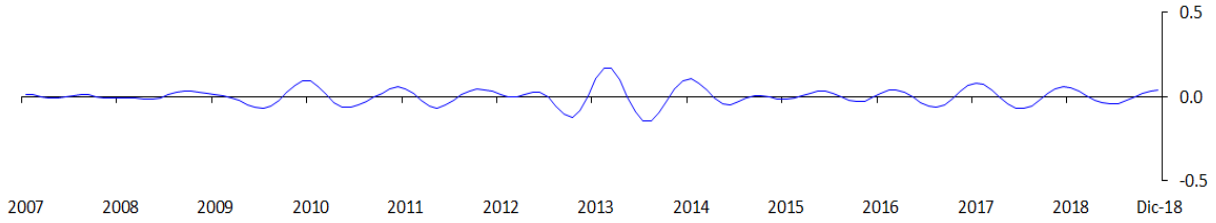
(a) Inflación Mensual de los Servicios
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



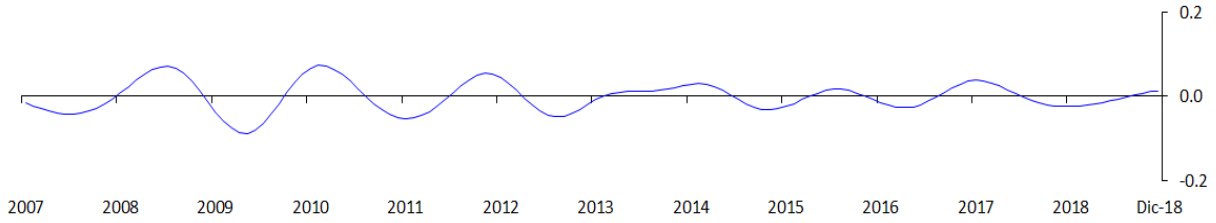
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



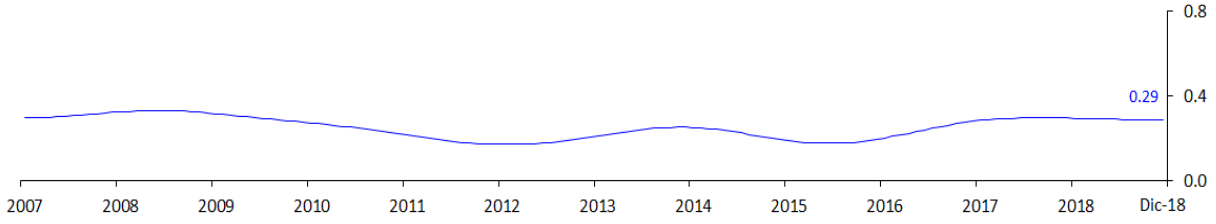
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



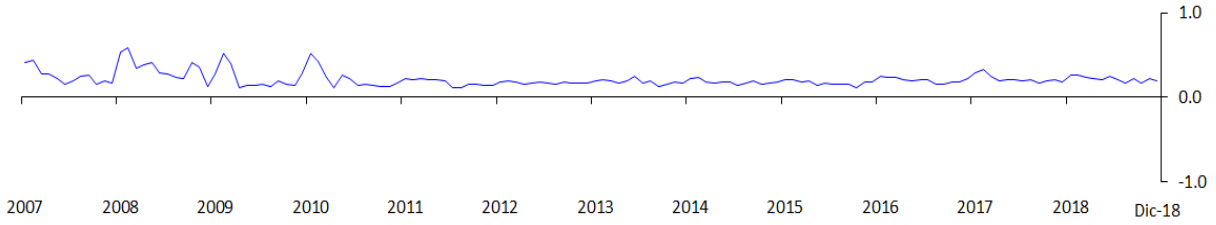
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



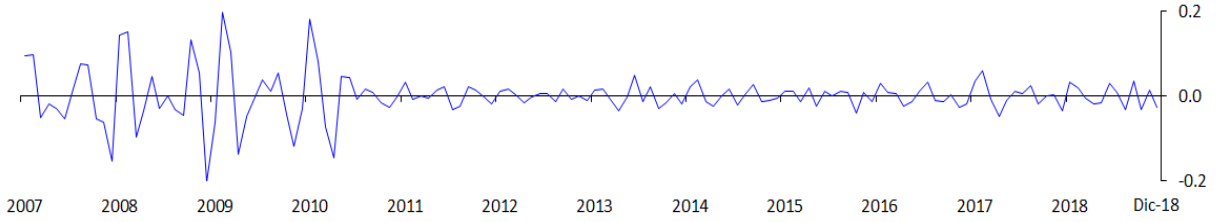
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 9: Descomposición Wavelets: Inflación de Vivienda

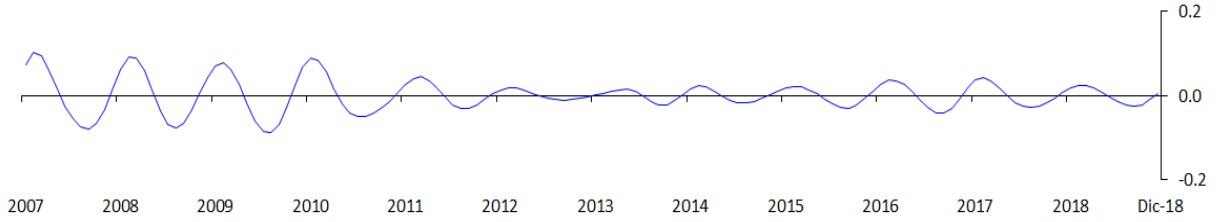
(a) Inflación Mensual de Vivienda
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



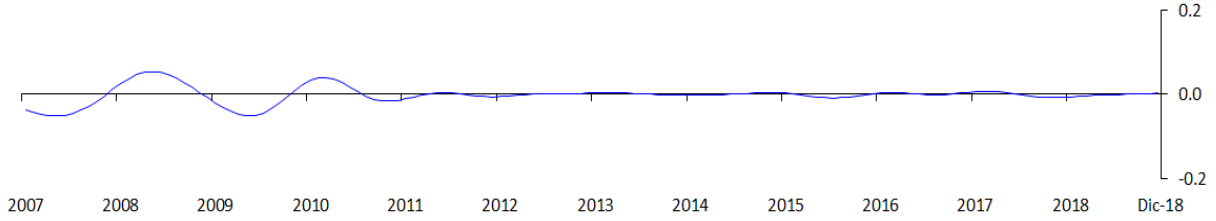
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



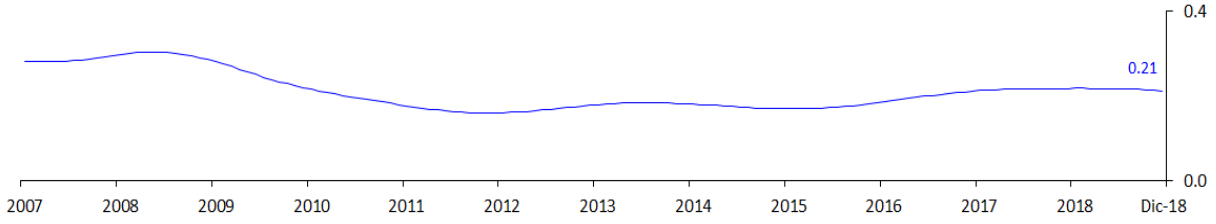
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



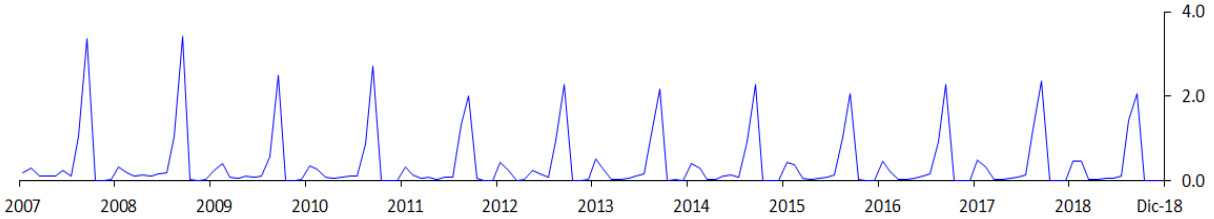
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



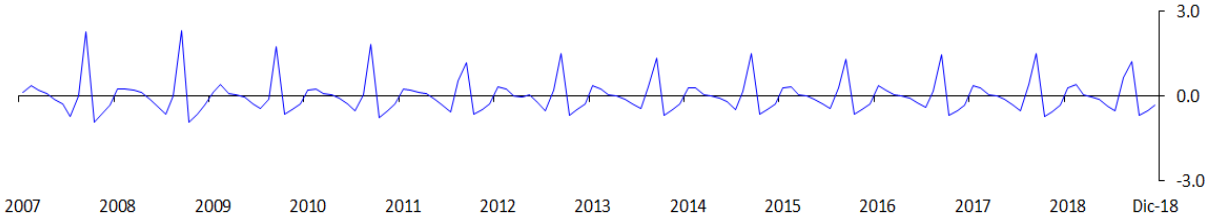
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 10: Descomposición Wavelets: Inflación de Educación Privada

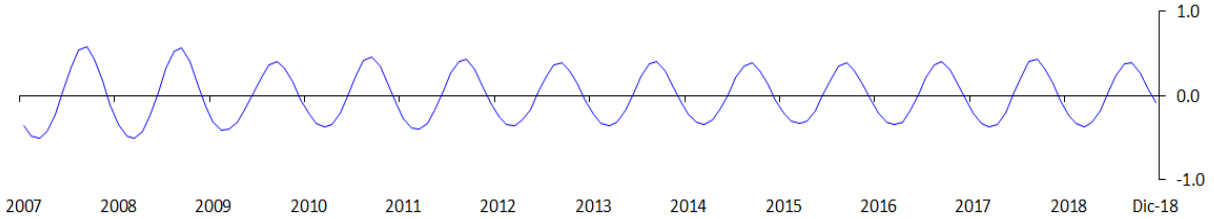
(a) Inflación Mensual de Educación Privada
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



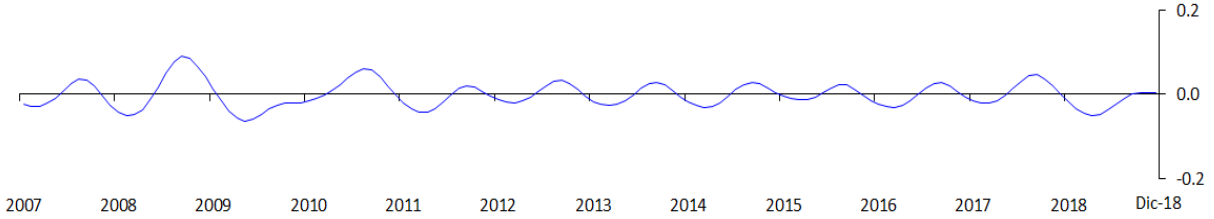
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



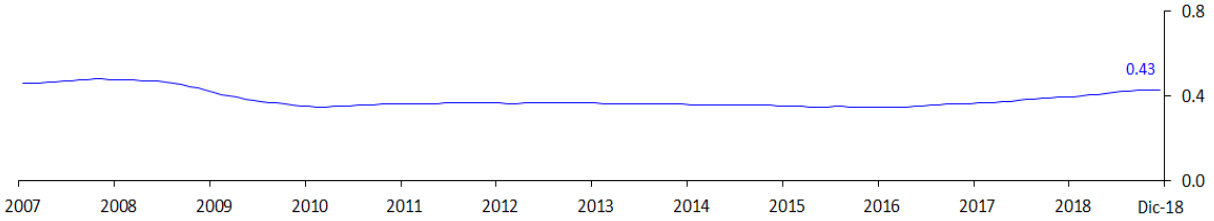
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



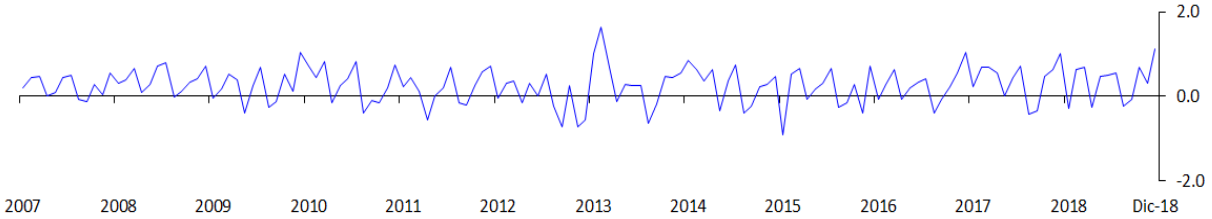
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



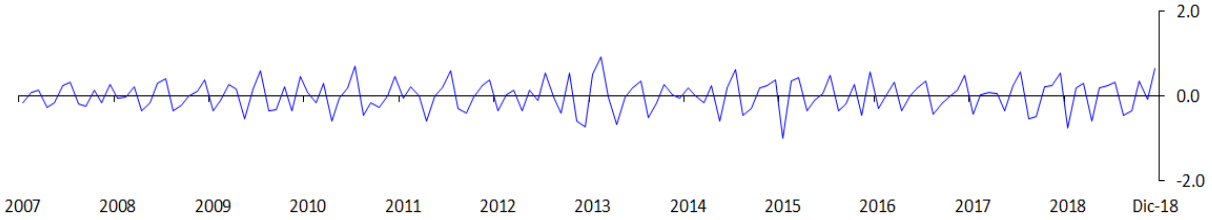
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 11: Descomposición Wavelets: Inflación de Otros Servicios

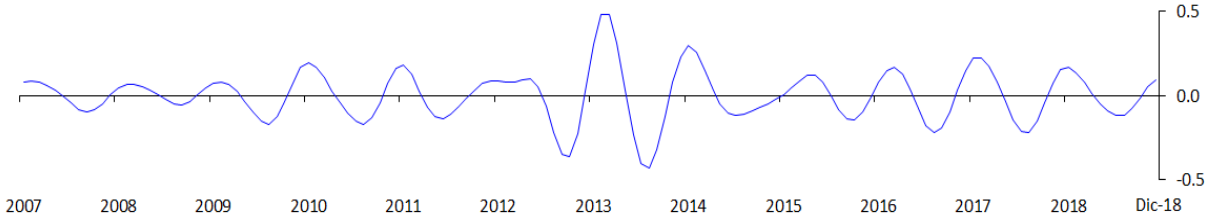
(a) Inflación Mensual de Otros Servicios
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



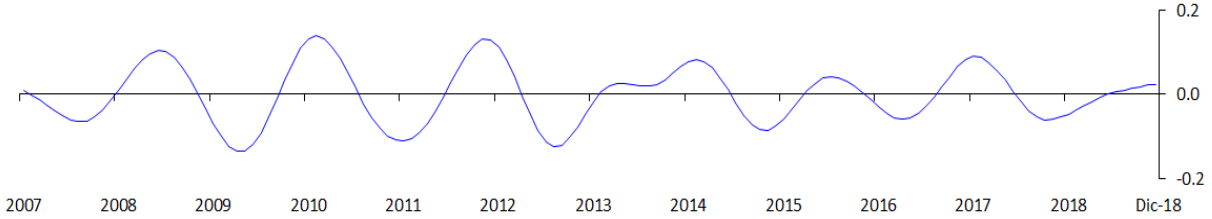
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



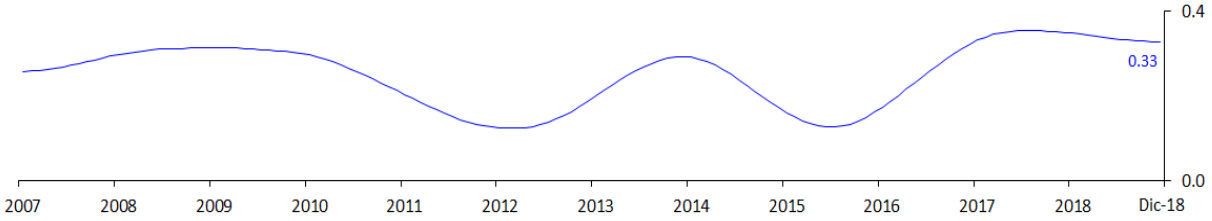
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



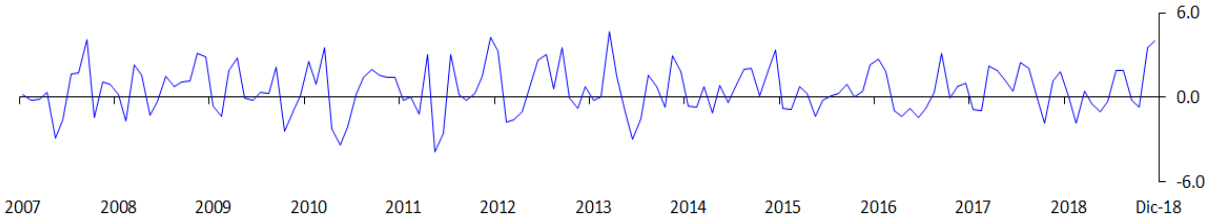
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



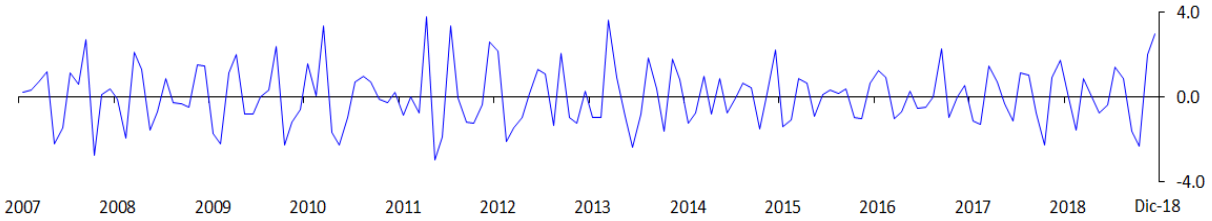
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 12: Descomposición Wavelets: Inflación Agropecuarios

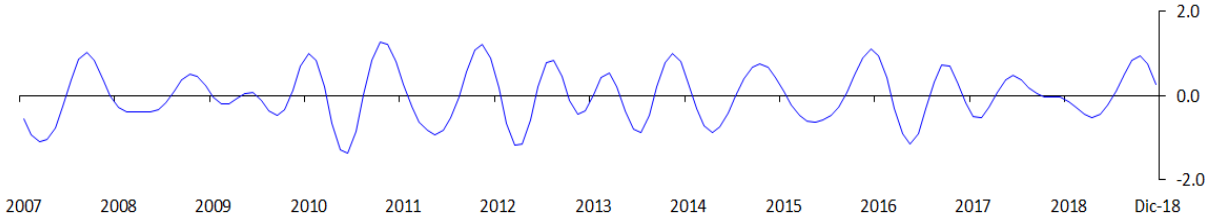
(a) Inflación Mensual Agropecuarios
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



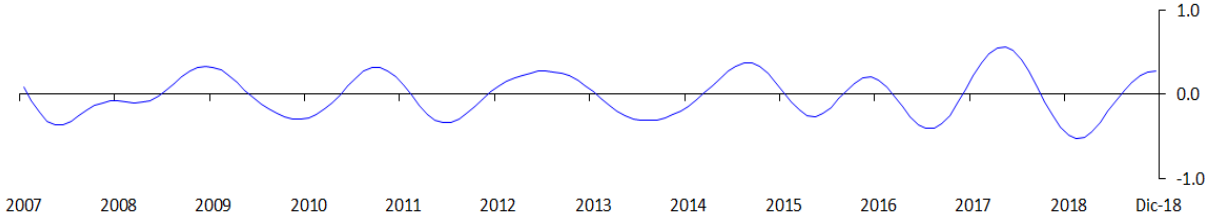
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



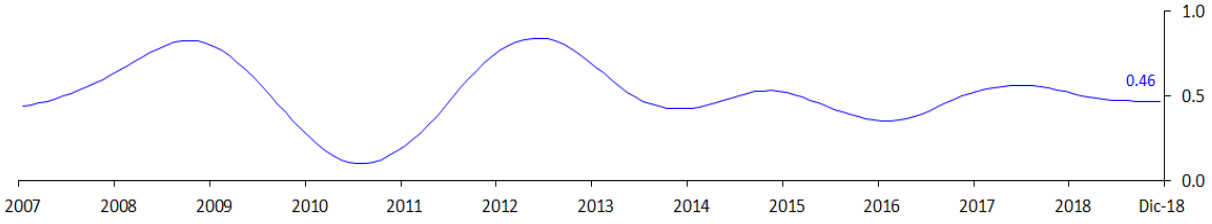
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



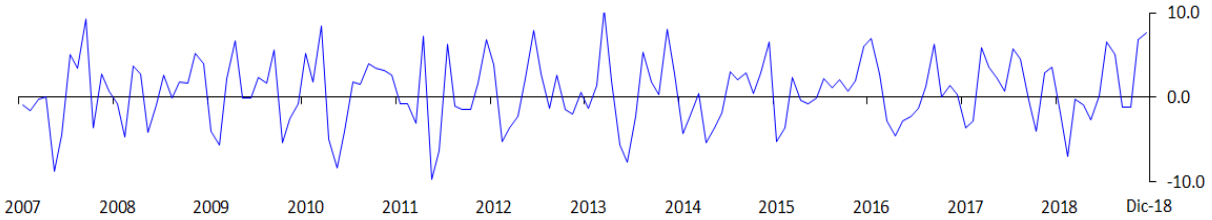
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



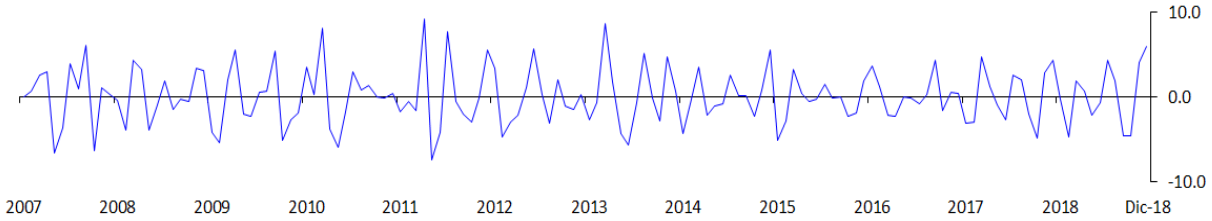
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 13: Descomposición Wavelets: Inflación de las Frutas y Verduras

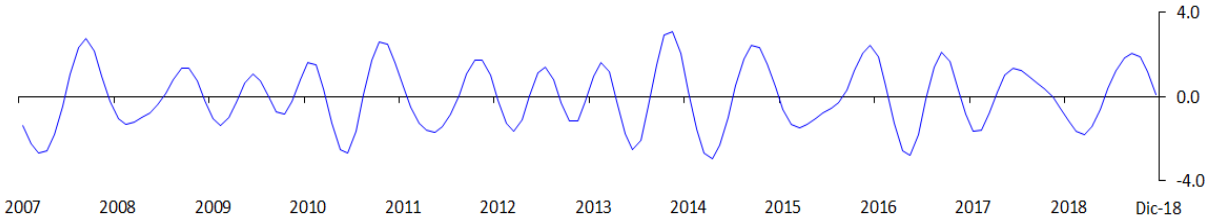
(a) Inflación Mensual de las Frutas y Verduras
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



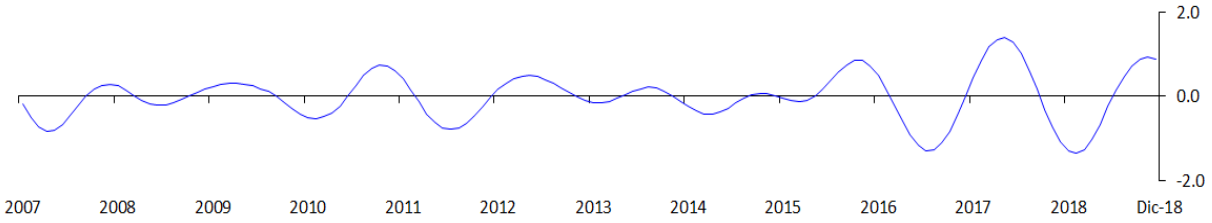
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



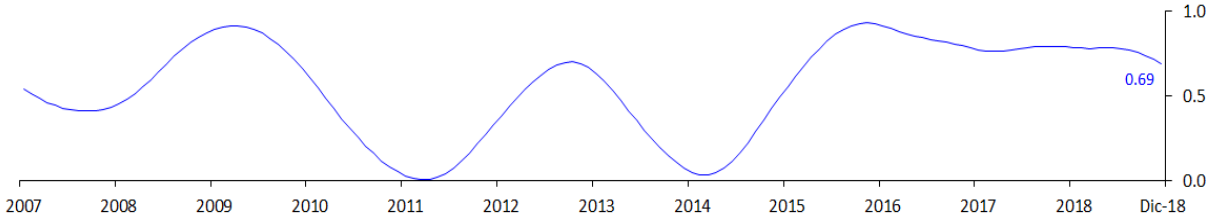
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



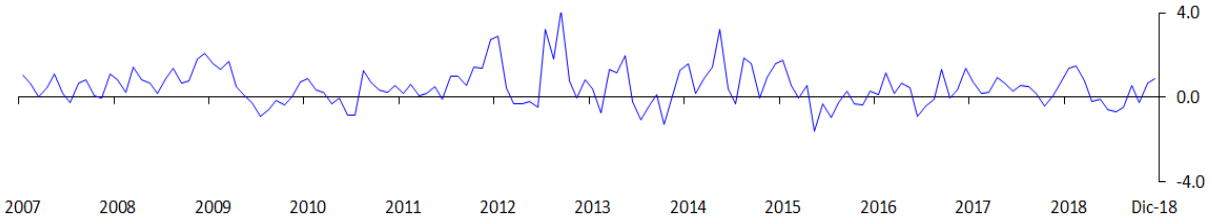
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



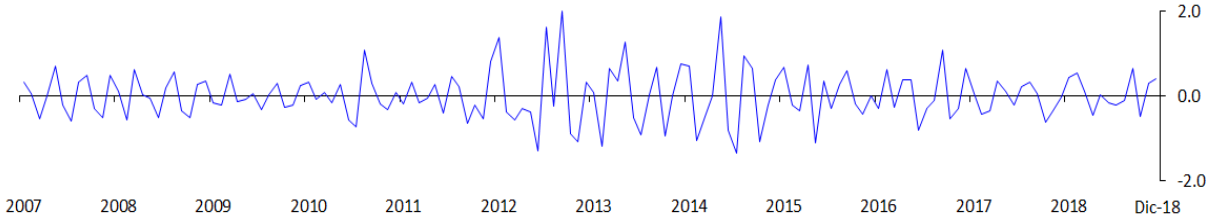
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 14: Descomposición Wavelets: Inflación de los Pecuarios

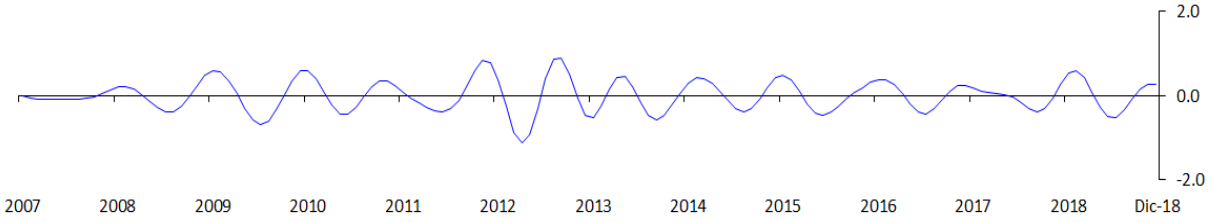
(a) Inflación Mensual de los Pecuarios
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



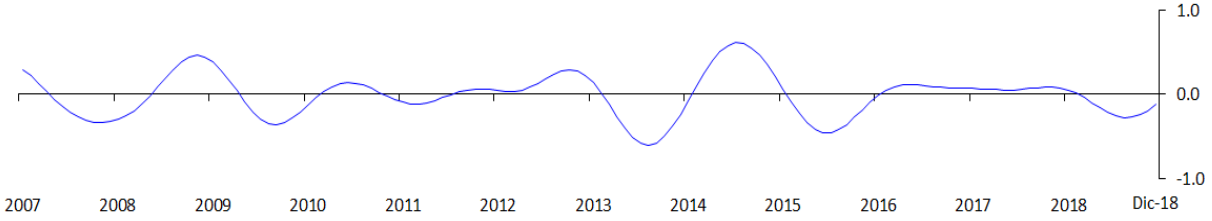
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



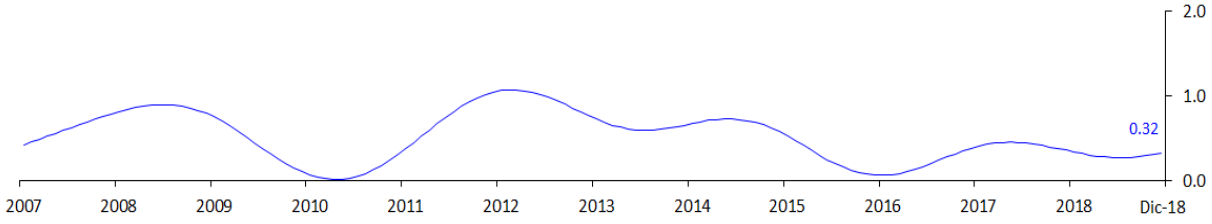
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



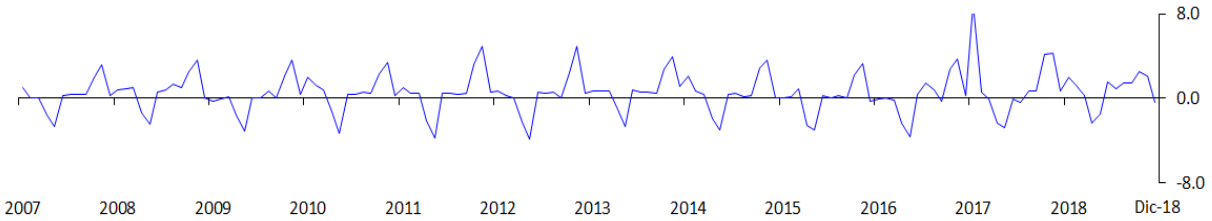
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



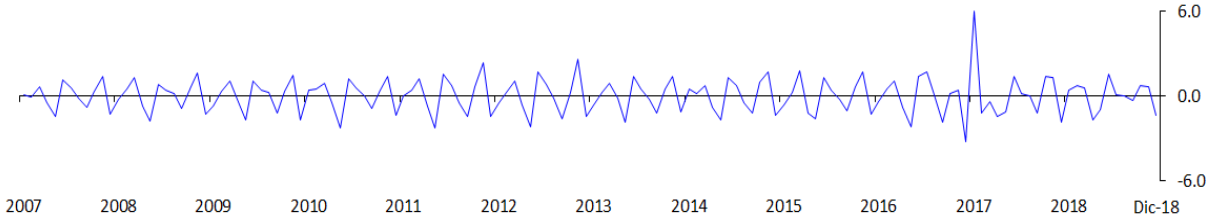
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 15: Descomposición Wavelets: Inflación de Energéticos y Tarifas Autorizadas por el Gobierno

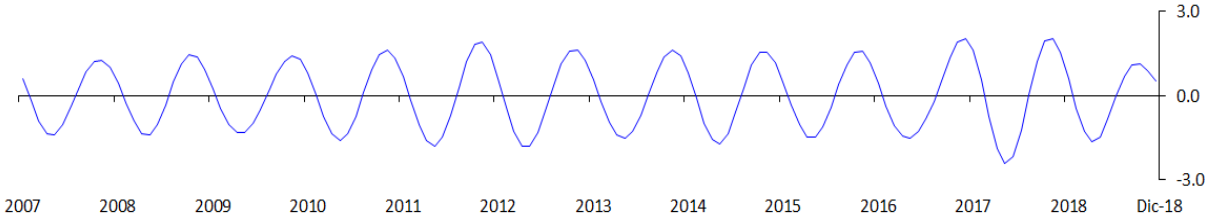
(a) Inflación Mensual Energéticos y Tarifas Autorizadas por el Gobierno
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



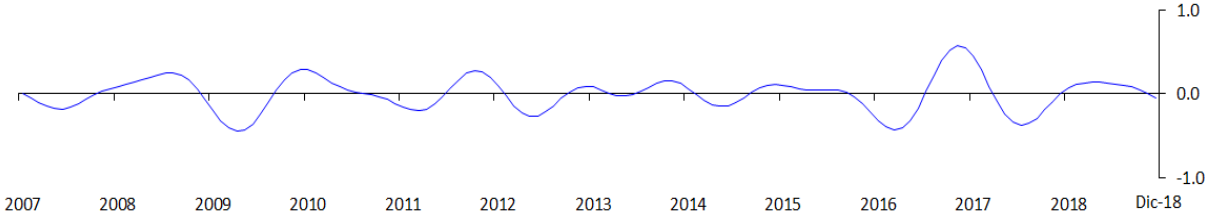
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



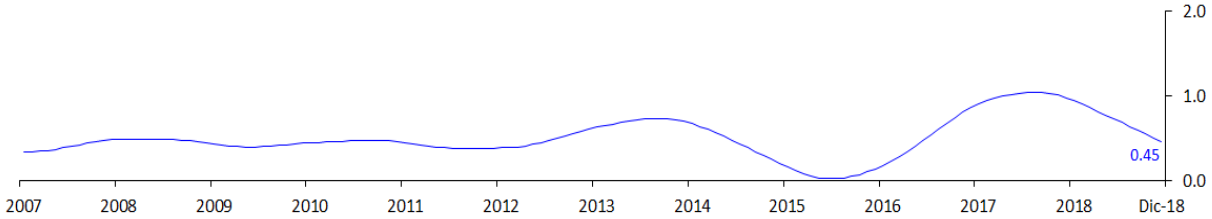
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



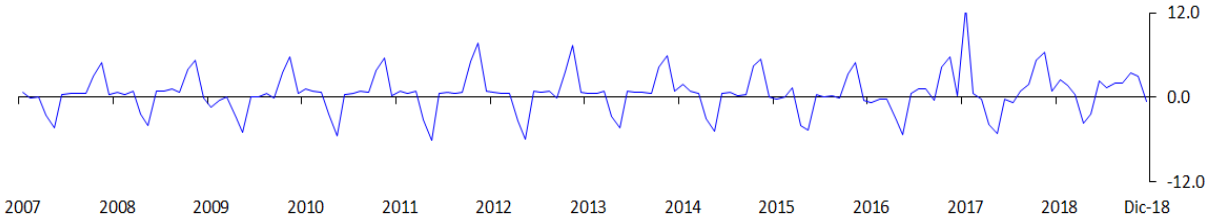
(e) Frecuencia: más de 32 meses



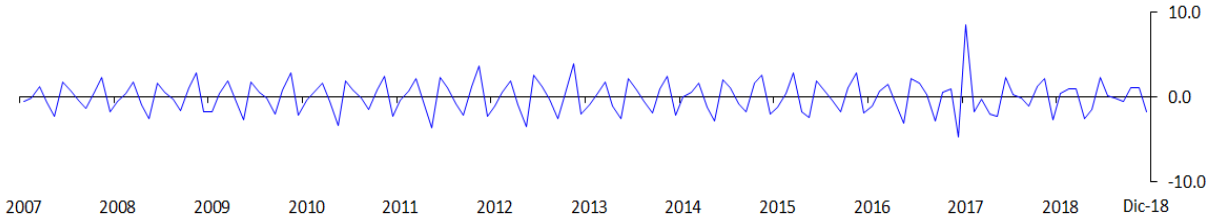
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 16: Descomposición Wavelets: Inflación de Energéticos

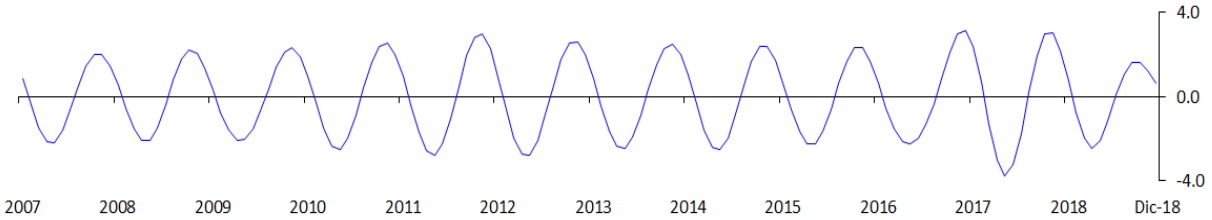
(a) Inflación Mensual Energéticos
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$



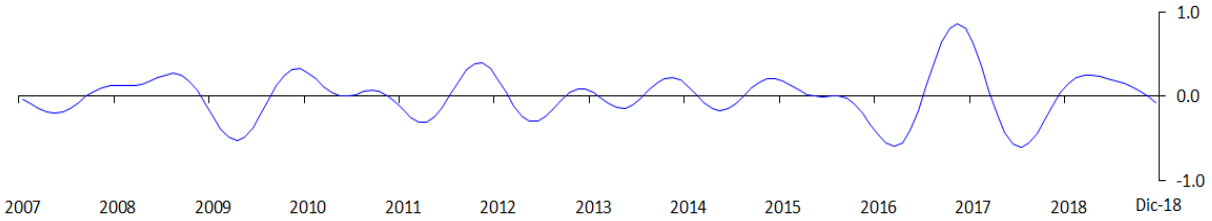
(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)



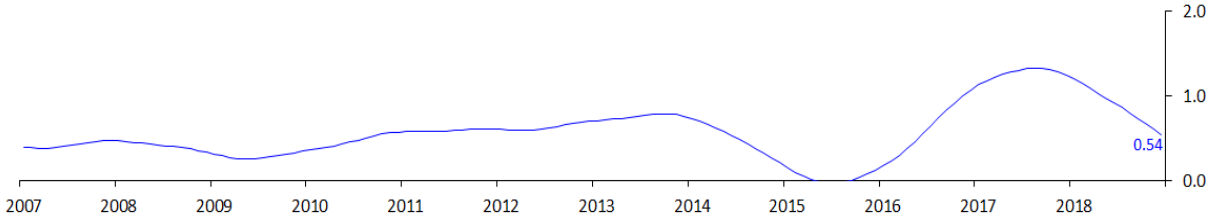
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)



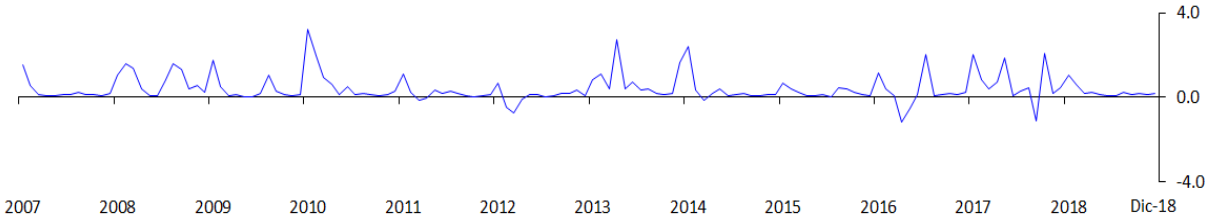
(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



Cálculos de los autores con datos de INEGI.

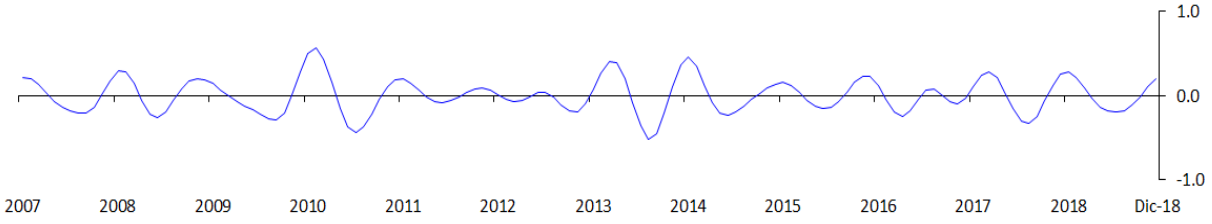
Gráfica 17: Descomposición Wavelets: Inflación de las Tarifas Autorizadas por el Gobierno

(a) Inflación Mensual de las Tarifas Autorizadas por el Gobierno
Cifras en por ciento
$a = b + c + d + e$

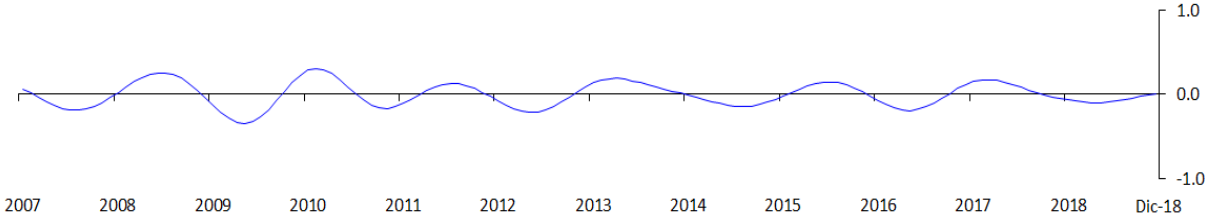


(b) Frecuencia: 2-8 meses
(corto plazo)

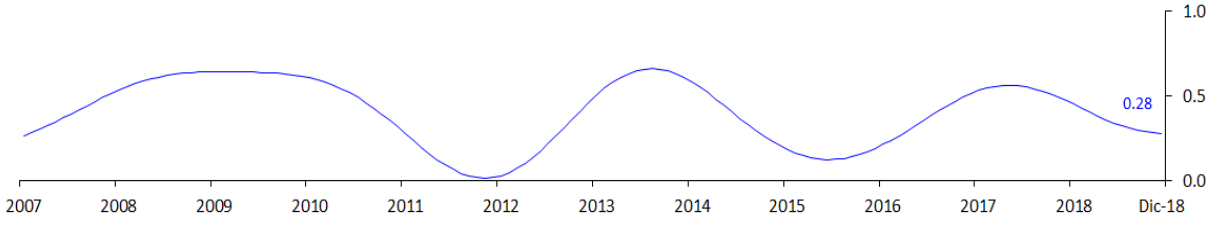
(c) Frecuencia: 8-16 meses
(estacionalidad)



(d) Frecuencia: 16-32 meses
(mediano plazo)

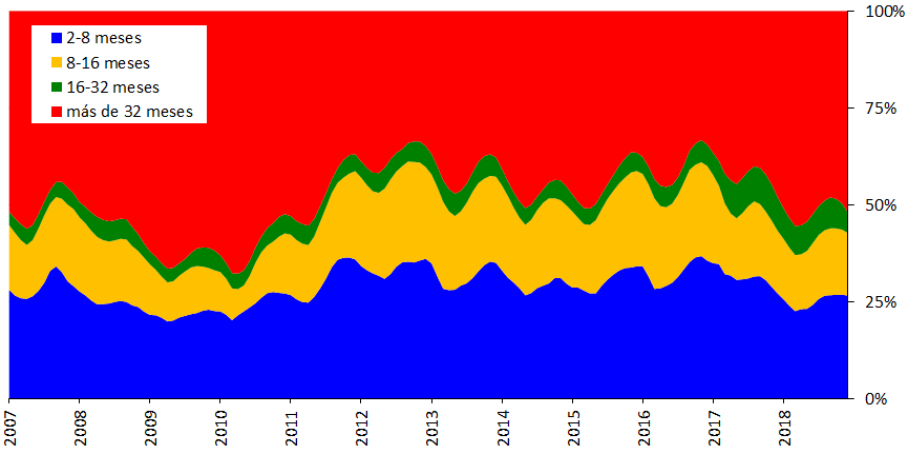


(e) Frecuencia: más de 32 meses
(tendencia)



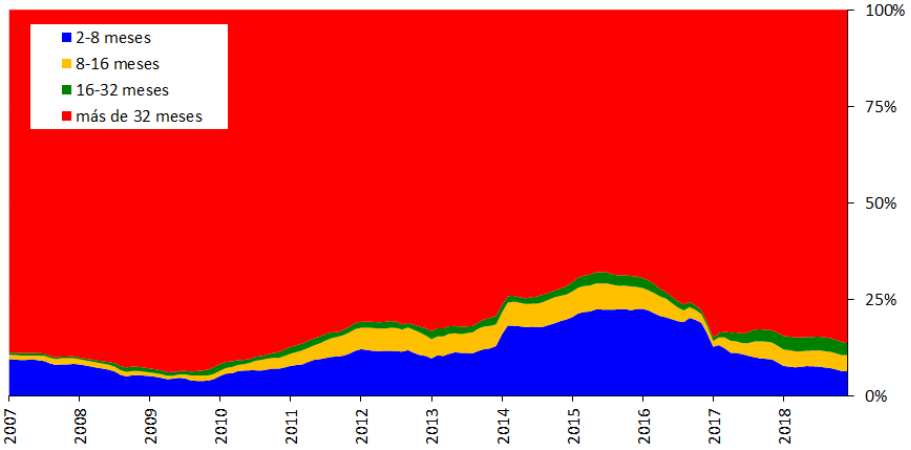
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 18: Descomposición de la Varianza: Inflación General



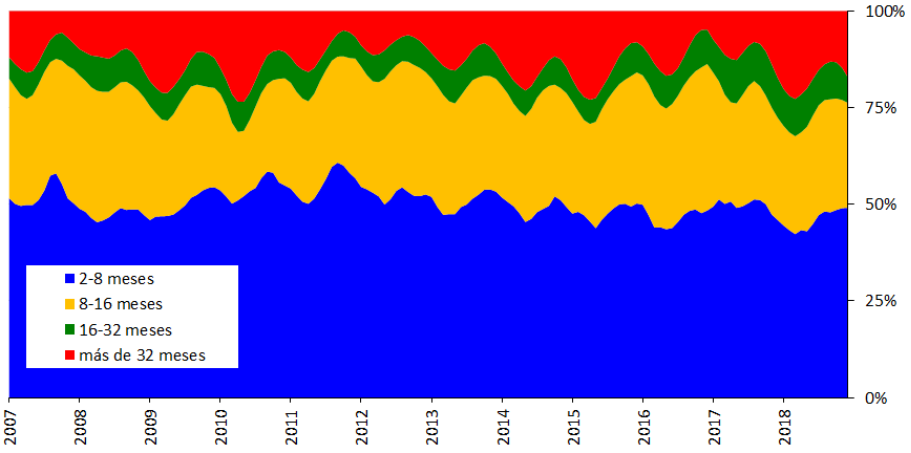
Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 19: Descomposición de la Varianza: Inflación Subyacente



Cálculos de los autores con datos de INEGI.

Gráfica 20: Descomposición de la Varianza: Inflación No Subyacente



Cálculos de los autores con datos de INEGI.