

Sección I. Esquema para la formulación de proyectos con la Metodología de Marco Lógico

1. Análisis espectral multivariado: un add-in usando Eviews para el análisis de datos económicos
2. Conformación del equipo de trabajo

Investigador principal	Nicolás Ronderos Pulido	Docente tiempo completo. Sede Bogotá.	http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000122085
			https://orcid.org/0000-0002-3447-4453
			https://scholar.google.es/citations?user=QqQjcNAAAAAJ&hl=es
Coinvestigador	Alexander Cotte Poveda	Docente tiempo completo. Sede Bogotá.	http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=000214531
			https://orcid.org/0000-0002-1991-2662
			https://scholar.google.es/citations?user=xOuMdsMAAAAJ&hl=es

1. Campo de acción de la USTA:

La presente propuesta de investigación titulada “Análisis espectral multivariado: un add-in usando Eviews para el análisis de datos económicos” se articula principalmente con una de las ocho apuestas nacionales establecidas en Ostos y Cortes (2019), específicamente con el desarrollo tecnológico con apuesta social. En este orden de ideas la propuesta se enmarca, principalmente, en lo establecido en el campo de acción de **ambiente** lo cual se encuentra asociado al concepto de **ciudades inteligentes**. Igualmente, pero en **menor medida** el proyecto de investigación se articula con el campo de **sociedad**, específicamente debido a que se encuentra asociado a los conceptos de: **economía y gestión del conocimiento**.

El desarrollo del software se enmarca en el campo de acción **ambiental** a causa de que su aplicación aportará al análisis de datos, tanto para las empresas, Gobierno, universidad e individuos que desean aplicar desarrollos tecnológicos para mejorar la **competitividad tecnológica** en su toma de decisiones. En menor medida se articula con el campo de **sociedad** debido a que el desarrollo del software requiere la revisión de conocimiento de frontera y así mismo se diseña esta herramienta tecnológica para su aplicación usando datos económicos (macroeconómicos, microeconómicos, de historia económica, entre otros), para más detalles ver Ostos y Cortes (2019).

2. **Foco temático:** En la misión de sabios del 2019 se establecen las estrategias que debe seguir Colombia en el largo plazo, para responder a los desafíos de producción y sociales de manera sostenible. En ese orden de ideas esta propuesta de investigación se enmarca en el foco temático de las **tecnologías convergentes**. Se propone el desarrollo de un software para análisis de datos económicos, más específicamente usando herramientas de análisis espectral multivariado. Es por ello que el desarrollo de dicho programa tecnológico podrá aportar a la revolución tecnológica mejorando la **competitividad tecnológica** a nivel: empresarial, de formación universitaria, y el desarrollo de conocimiento individual de los usuarios del software mediante la aplicación del desarrollo de esta innovación.

3. **Enfoque de la propuesta:** La propuesta de investigación se articula principalmente con el objetivo número 16 del plan nacional de desarrollo 2018-2022, en el cual se tiene como meta específica “duplicar la inversión pública y privada en ciencia y tecnología al 1,5% del PIB”, ver Gobierno de Colombia (2019).

Esto se encuentra en línea con el foco temático de tecnologías convergentes expuesto en la Misión de sabios (2019), para que así las empresas, Gobierno y Universidades inviertan un mayor monto en el desarrollo de I+D. Por ello se espera, como se establece en la misión, que las Universidades ganen confianza por parte del Gobierno y emprendedores para aportar soluciones con resultados verificables. Igualmente, el enfoque de la propuesta también se encuentra alineado con el campo de acción de la USTA de ambiente, específicamente con el concepto de ciudades inteligentes.

De la misma manera la propuesta de investigación se articula con el objetivo número 9 de los **objetivos de desarrollo sostenible planeados** por la OCDE, ver OCDE (2015). Esto es con el objetivo de: industria, innovación e infraestructura. El proyecto busca promover y desarrollar nuevas tecnologías para permitir el uso eficiente y competitivo de recursos.

4. **Convenio o alianza:** El presente proyecto no pretende desarrollar ninguna alianza o convenio con alguna entidad externa a la Universidad Santo Tomás.

5. **Duración de ejecución del proyecto:** En el cronograma del desarrollo de actividades se tiene presupuestada una duración de 12 meses del proyecto de investigación.

6. **Área geográfica involucrada o referente territorial de estudio:** La propuesta contempla inicialmente el efecto del uso del software por parte de los estudiantes de los cursos de Econometría I, Econometría II, series de tiempo, modelaje financiero y coyuntura económica de la Universidad Santo Tomás. Estos cursos pertenecen a la facultad de economía y de estadística. Igualmente, esta propuesta de investigación pretende el desarrollo del software usando el programa especializado Eviews, ampliamente utilizado en Universidades, empresas del sector real, empresas de consultoría, y Gobiernos en el mundo. El software estará disponible gratuitamente para cualquier usuario de Eviews. Es por ello que el área geográfica involucrada es más precisamente: **todos los potenciales usuarios del software**. Pueden ser nacionales o extranjeros. Como se establece en la misión de sabios, el campo de acción de la USTA, el plan nacional de desarrollo y los objetivos de desarrollo sostenible, esta la propuesta de investigación pretende el desarrollo tecnológico con apuesta social mejorando la competitividad tecnológica y eficiencia en la toma de decisiones de las entidades e instituciones mencionadas.

7. Resumen ejecutivo

En este trabajo se propone el desarrollo un software con capacidad de análisis de datos de series de tiempo. El software o add-in se diseña con el objetivo de utilizar herramientas de análisis espectral multivariado sobre series de tiempo y datos económicos (macroeconómicos, microeconómicos y de historia económica). El software se desarrolla utilizando Eviews. Desde la versión siete de Eviews se incorpora la posibilidad de que los usuarios diseñen y propongan sus rutinas de programación. Todos los usuarios de Eviews podrán acceder gratuitamente al add-in de “Análisis espectral multivariado”. El add-in de análisis espectral multivariado se diseña principalmente bajo el marco teórico de Wei (2006) y Priestley (1981), se enfatiza su libre acceso y fácil uso. El software puede utilizarse sobre cualquier conjunto de datos de series de tiempo, su diseño es generalizado. Se espera que el software propuesto pueda ser usado por las universidades, empresas, entes Gubernamentales y cualquier otro usuario de Eviews. Por ello este proyecto de investigación se encuentra alineado con los

objetivos de desarrollo sostenible (industria, innovación y tecnología), el campo de acción de la USTA de ambiente (ciudades inteligentes), el plan nacional de desarrollo (más inversión pública y privada en I+D) y la misión de sabios de tecnología convergentes.

8. Identificación y descripción del problema

Específicamente el presente proyecto de investigación busca desarrollar un software de análisis espectral multivariado para el análisis de datos económicos. En las categorías de investigación de la convocatoria FODEIN 2021 este proyecto se enmarca en la categoría de **desarrollo tecnológico**. En general, la teoría econométrica establece el principal problema a resolver es: i) buscar cuantificar efectos relacionales y ii) resolver problemas de naturaleza económica. Por ello la econometría se enfoca en i) identificar relaciones causales, ii) pronosticar o iii) evaluar políticas. Existen diversas herramientas y teorías que pueden ser aplicadas a un conjunto de datos. Este trabajo se enfoca en disminuir la brecha entre las propuestas teóricas y su aplicación empírica, esto al desarrollar un software que contenga técnicas de análisis espectral multivariado para el econometrista aplicado. En este orden de ideas el software podrá ser usado por cualquier usuario de Eviews. El paquete Eviews es un software ampliamente utilizado por universidades, empresas y entes Gubernamentales. Es de esperar que este tipo de análisis de datos ayude a los agentes a mejorar su toma de decisiones e incrementar sus niveles de competitividad tecnológica. A pequeña escala el desarrollo del software será usado para los cursos de Econometría I, Econometría II, series de tiempo, modelaje financiero y coyuntura económica de la Universidad Santo Tomás. Estos cursos pertenecen a la facultad de economía y de estadística. Estos estudiantes se encuentran entre 5 y 8 semestre de dichas carreras ofrecidas en los programas de la USTA.

Por otro lado, a gran escala, y siguiendo en plan de desarrollo nacional. La creación del software “análisis espectral multivariado” busca cerrar las brechas del poco gasto en I+D que se da en Colombia, relativo a otros países. En la tabla 1 se presenta el gasto en investigación y desarrollo por país en billones de dólares expresados en paridad de poder adquisitivo, se puede observar que las grandes potencias del mundo dedican una gran proporción de su gasto al desarrollo de nuevas tecnologías. Esto les permite mejorar su sistema productivo y generar **mayor crecimiento económico** vía educación con mejor productividad y de cierta manera mayor posibilidad de **bienestar social**. La propuesta de investigación aquí enmarcada busca mejorar estos indicadores para el país número 47 del ranking, y de esta manera poder aportar a la competitividad tecnológica y la eficiencia en la toma de decisiones de todos los usuarios de dicha tecnología. Como producto de investigación se plantea el registro de derecho de autor del software, por lo que también se generaría un efecto positivo sobre los indicadores de propiedad intelectual de Colombia.

Tabla 1 – Gasto en I+D por países en billones de dólares

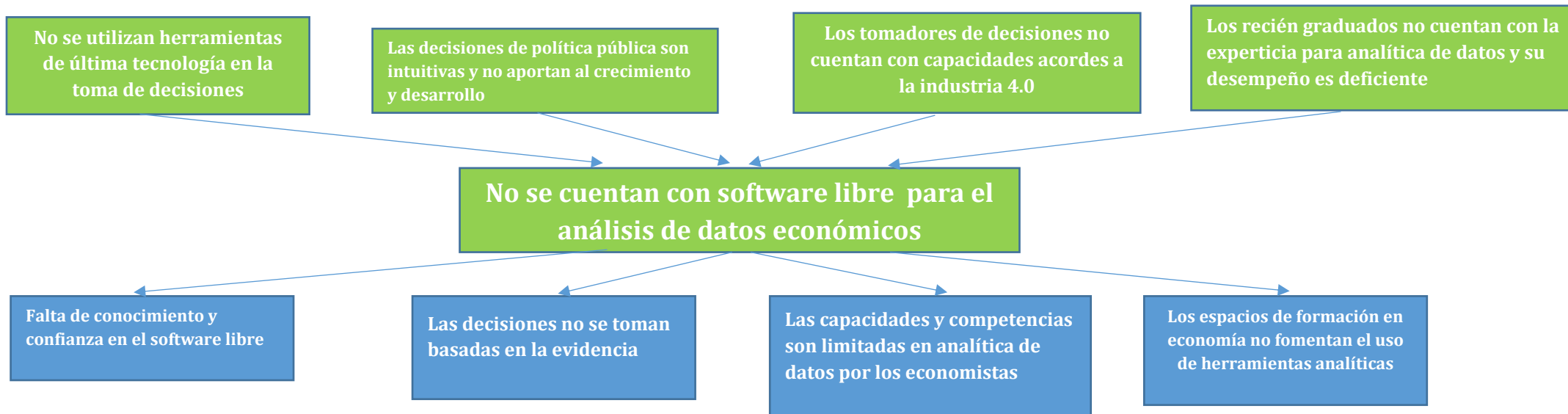
Ranking	País	Gasto en I+D, Billones de dólares en PPA	Ranking	País	Gasto en I+D, Billones de dólares en PPA	Ranking	País	Gasto en I+D, Billones de dólares en PPA
1	China	553,40	31	Egypt	6,20	61	Serbia	0,70
2	United States	511,10	32	South Africa	6,10	62	Luxembourg	0,70
3	Japan	165,70	33	Norway	5,80	63	Iran	0,70
4	Germany	118,80	34	Argentina	5,00	64	Croatia	0,70
5	South Korea	91,60	35	United Arab Emirates	4,28	65	Kazakhstan	0,67
6	India	66,50	36	Portugal	3,60	66	Philippines	0,48

Ranking	País	Gasto en I+D, Billones de dólares en PPA	Ranking	País	Gasto en I+D, Billones de dólares en PPA	Ranking	País	Gasto en I+D, Billones de dólares en PPA
7	France	60,00	37	Ireland	3,60	67	Peru	0,40
8	United Kingdom	44,80	38	Hungary	3,40	68	Estonia	0,34
9	Russia	42,60	39	Ukraine	3,00	69	Azerbaijan	0,33
10	Brazil	38,40	40	Hong Kong	2,70	70	Uganda	0,28
11	Taiwan	33,70	41	Pakistan	2,40	71	Latvia	0,28
12	Italy	27,40	42	Greece	2,40	72	Costa Rica	0,28
13	Canada	25,70	43	Romania	2,30	73	Iceland	0,27
14	Australia	23,30	44	Indonesia	2,00	74	Mongolia	0,26
15	Spain	19,20	45	Saudi Arabia	1,80	75	Uruguay	0,24
16	Israel	18,60	46	New Zealand	1,80	76	Sudan	0,18
17	Netherlands	16,30	47	Colombia	1,60	77	Algeria	0,16
18	Turkey	15,30	48	Chile	1,54	78	Cyprus	0,13
19	Sweden	14,20	49	Slovenia	1,50	79	North Macedonia	0,12
20	Switzerland	13,10	50	Morocco	1,50	80	Bosnia and Herzegovina	0,12
21	Thailand	12,40	51	Slovakia	1,40	81	Malta	0,11
22	Belgium	12,40	52	Qatar	1,30	82	Bolivia	0,08
23	Austria	11,90	53	Belarus	1,12	83	Oman	0,07
24	Poland	11,60	54	Vietnam	0,87	84	Macau	0,07
25	Malaysia	10,60	55	Kuwait	0,83	85	Botswana	0,07
26	Singapore	10,00	56	Bulgaria	0,81	86	Paraguay	0,06
27	Mexico	9,00	57	Ecuador	0,80	87	Moldova	0,06
28	Denmark	8,20	58	Ethiopia	0,79	88	Bahrain	0,06
29	Finland	7,20	59	Tunisia	0,78	89	Georgia	0,05
30	Czech Republic	6,30	60	Lithuania	0,76	90	Montenegro	0,03

Así se espera que el software propuesta pueda ser usado por las universidades, empresas, entes Gubernamentales y cualquier otro usuario de Eviews. Por ello este proyecto de investigación se encuentra alineado con los objetivos de desarrollo sostenible (industria, innovación y tecnología), el campo de acción de la USTA de ambiente (ciudades inteligentes), el plan nacional de desarrollo (más inversión pública y privada en I+D) y la misión de sabios de tecnología convergentes.

9. Árbol de problemas (relación causa-efecto)

CAUSAS
EFECTOS



10. Antecedentes

Los datos económicos, más específicamente los datos de series de tiempo en econometría son usualmente vistos desde el análisis en el dominio del tiempo. Sin embargo, también pueden ser interpretados con técnicas de análisis espectral, las cuales se conocen comúnmente como análisis en el dominio de la frecuencia, ver Wei (2006), Priestley (1981) y Hamilton (1990). Históricamente el análisis espectral univariado fue inicialmente propuesto en el siglo 17 por Joseph Fourier, el cual busca descomponer una señal o serie de tiempo en una suma infinita de ondas sinusoidales. Es una técnica en la cual se busca identificar la amplitud o la importancia relativa de todo el espectro posible de ondas sinusoidales, lo cual es expresado de la siguiente manera:

$$x_t = \sum_{i=0}^{T/2} a_i \cos(w_i t) + b_i \text{sen}(w_i t)$$

Donde a_i y b_i determinan la importancia de cada onda y w_i es la frecuencia angular dada en radianes $w_i = \frac{2\pi i}{T}$. En la literatura reciente se han propuesto varias aplicaciones de análisis espectral. Por ejemplo, en el trabajo de Jizba, Kleinert, y Khefaat (2012) se estima el valor de la coherencia espectral de 11 índices accionarios del mundo, se concluye que el flujo de información es asimétrico, los excesos de información provienen de Asia, Estados Unidos y Europa. Así mismo existen trabajos en donde se identifica la relación a largo plazo (cointegración) usando técnicas de análisis espectral, por ejemplo, Pal y Mitra (2019) estiman el equilibrio a largo plazo entre el precio de las acciones de mercados de automotores y el precio internacional del petróleo, se encuentra que los choques de demanda explican la relación positiva entre estas dos variables. Por otro lado, Anagnoste, y Caraianni (2019) buscan identificar los determinantes de la información del mercado financiero utilizando técnicas de análisis espectral y modelos VAR, encuentran que los choques macroeconómicos e idiosincráticos explican gran proporción de los movimientos de variables financieras. De la misma forma, Strohsal, Proaño, y Wolters (2019) identifican la duración del ciclo financiero y de los negocios para un conjunto de economías desarrolladas, encuentran que el ciclo financiero tiene una duración más prolongada y es principalmente explicado por choques de política monetaria.

En otra línea de trabajo Kühnert, Frey y Seyboldt, R. (2019) utilizan técnicas de análisis espectral y definiciones de causalidad en el sentido de Granger aplicado sobre un conjunto de datos de procesos productivos de diferentes plantas manufactureras, encuentran causalidad bidireccional en donde el proceso de producción de una planta causa y es causada por cambios en la producción de otras plantas productoras. De la misma manera Mallick, Behera y Dash (2020) realizan un análisis de causalidad de Granger en el corto y largo plazo entre el IPC y el MPC de India, para ello utilizan técnicas de análisis espectral, se encuentra un equilibrio de largo plazo entre estas variables cuando se incluye un umbral en un modelo TAR. En el trabajo de Lemmens, Croux, y Dekimpe (2008) se comparan diferentes alternativas para probar causalidad de Granger en el dominio de la frecuencia, se calcula el poder de las pruebas propuestas por Pierce (1979) y Geweke (1982) por medio de simulaciones de Monte Carlo. Encuentran que el poder de cada prueba depende de la frecuencia probada en la hipótesis.

Desde un punto de vista teórico Henry y Zaffaroni (2003) realizan una revisión de las series de tiempo altamente persistentes, modelos de volatilidad condicional y su relación con el análisis espectral. Encuentran como hecho estilizado que la mayoría de series de tiempo son altamente persistentes e identifican que sus espectros no se encuentran definidos. Por otro lado Corbae, Ouliaris y Phillips (1994) examinan la hipótesis de ingreso permanente mediante de regresiones en el dominio de la frecuencia, esto les permite probar si choques transitorios o permanentes del ingreso afectan al consumo de los hogares. Ahora bien, en este trabajo se propone el uso de técnicas de análisis espectral multivariado, a diferencia del univariado su objetivo es determinar la relación entre distintos componentes sinusoidales con diversas frecuencias. El espectro cruzado de un par de series de tiempo x_t y y_t se define como la transformada de Fourier de su función de covarianza cruzada, para ello se requiere definir la función generadora de covarianza tal que:

$$R_{xy}(L) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_{xy}(k) L^k$$

Por lo cual su espectro cruzado está dado por:

$$f_{xy}(w) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_{xy}(k) e^{-i w k} = \frac{1}{2\pi} R_{xy}(e^{-i w k})$$

Donde $e^{-i\omega k}$ es la ecuación de Euler $e^{-i\omega k} = \cos(\omega k) - i\sin(\omega k)$. De la misma manera $f_{xx}(\omega)$ y $f_{yy}(\omega)$ corresponden a los espectros de x_t y y_t respectivamente. Equivalentemente se tiene que:

$$f_{xy}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_{xy}(k) (\cos(\omega k) - i\sin(\omega k)) = c_{xy}(\omega) - iq_{xy}(\omega)$$

Donde:

$$c_{xy}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_{xy}(k) \cos(\omega k) \quad q_{xy}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_{xy}(k) \sin(\omega k)$$

La función $c_{xy}(\omega)$ se define como el coespectro, la parte real de $f_{xy}(\omega)$ y $q_{xy}(\omega)$ es el espectro cuadrado, la parte imaginaria de $f_{xy}(\omega)$. De forma alternativa el espectro cruzado puede expresarse en su forma polar como:

$$f_{xy}(\omega) = A_{xy}(\omega) e^{i\phi_{xy}(\omega)}$$

Donde se tiene que:

$$A_{xy}(\omega) = (c_{xy}(\omega)^2 + q_{xy}(\omega)^2)^{1/2} \quad \phi_{xy}(\omega) = \tan^{-1} \left(-\frac{q_{xy}(\omega)}{c_{xy}(\omega)} \right)$$

Esto puede verse si se recuerda que cualquier onda sinusoidal $w_t = \alpha \cos(\omega t) + \beta \sin(\omega t) = \rho \cos(\omega t + \theta)$ donde $\rho = (\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ es la amplitud de w_t y $\theta = \tan^{-1}(-\frac{\beta}{\alpha})$ es el ángulo de fase de w_t . De esta manera las funciones $A_{xy}(\omega)$ y $\phi_{xy}(\omega)$ se conocen como el espectro cruzado de amplitud y de fase respectivamente. Adicionalmente existen otras funciones que ayudan a interpretar las estimaciones del espectro cruzado. La función de ganancia y la de coherencia cuadrada se definen como:

$$G_{xy}(\omega) = \frac{A_{xy}(\omega)}{f_x(\omega)} \quad K_{xy}^2(\omega) = \frac{A_{xy}(\omega)^2}{f_x(\omega)f_y(\omega)}$$

En la práctica el espectro cruzado debe ser explicado por varias funciones. Las funciones del espectro multivariado serán estimadas por el software usando un enfoque frecuentista. Sean x_t y y_t dos series de tiempo, sus espectros univariados pueden ser estimados como:

$$\hat{f}_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-M_x}^{M_x} W_x(k) \hat{\gamma}_x(k) e^{-i\omega k} \quad \hat{f}_y(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-M_y}^{M_y} W_y(k) \hat{\gamma}_y(k) e^{-i\omega k}$$

Donde es el estimador de la autocovarianza de la serie x_t de orden k , este se calcula como: $\hat{\gamma}_x(k) = \frac{1}{T} \sum_{t=1+k}^T (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})$. De la misma manera $\hat{\gamma}_y(k) = \frac{1}{T} \sum_{t=1+k}^T (y_t - \bar{y})(y_{t-k} - \bar{y})$ es la función de autocovarianza de y_t de orden k . Ahora bien, las funciones $W_x(k)$ y $W_y(k)$ se conocen como ventanas de rezago, las cuales se utilizan para dar una menos

ponderación a los coeficientes de autocovarianza estimados con menos precisión¹. Los términos M_x y M_y se conocen como puntos de truncamiento. En la práctica es usual utilizar las funciones expresadas en la tabla 2.

Window name	Lag window
Hamming	$\lambda(k) = 1 - 2 * 0.23 + 2 * 0.23 \cos(\frac{\pi k}{M})$ for $ k \leq M$ and 0 otherwise
Hann	$\lambda(k) = 1 - 2 * 0.25 + 2 * 0.25 \cos(\frac{\pi k}{M})$ for $ k \leq M$ and 0 otherwise
Bartlett	$\lambda(k) = 1 - \frac{ k }{M}$ for $ k \leq M$ and $\lambda(k) = 0$ for $ k > M$
Parzen	$\lambda(k) = 1 - 6(\frac{ k }{M})^2 + 6(\frac{ k }{M})^3$ for $ k \leq \frac{M}{2}$ and $\lambda(k) = 2(1 - \frac{ k }{M})^3$ for $\frac{M}{2} \leq k \leq M$
Truncated	$\lambda(k) = 1$ for $ k \leq M$ and $\lambda(k) = 0$ for $ k > M$
Daniell	$\lambda(k) = \sin(\frac{\pi k}{2M}) / (\frac{\pi k}{M})$
Bartlett-Priestley	$\lambda(k) = \frac{3M^2}{(\pi k)^2} \{ \sin(\frac{\pi k}{M}) / (\frac{\pi k}{M}) - \cos(\frac{\pi k}{M}) \}$

Tabla 2

De forma similar el espectro cruzado entre las dos series de tiempo puede ser estimado de la siguiente manera

$$\widehat{f}_{xy}(w) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-M_{xy}}^{M_{xy}} W_{xy}(k) \widehat{\gamma}_{xy}(k) e^{-i w k}$$

Donde $\widehat{\gamma}_{xy}(k)$ es la función de covarianza cruzada, la cual a diferencia de la de autocovarianza no es simétrica alrededor de k. La función $W_{xy}(k)$ es la ventana de rezago y M_{xy} es el punto de truncamiento. El espectro cruzado también puede escribirse como:

$$\widehat{f}_{xy}(w) = \widehat{c}_{xy} - i \widehat{q}_{xy}$$

Donde

$$\widehat{c}_{xy} = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-M_{xy}}^{M_{xy}} W_{xy}(k) \widehat{\gamma}_{xy}(k) \cos(w_k) = \frac{1}{2\pi} \left(W_{xy}(0) \widehat{\gamma}_{xy}(0) + \sum_{k=1}^{M_{xy}} W_{xy}(k) (\widehat{\gamma}_{xy}(k) + \widehat{\gamma}_{xy}(-k)) \cos(w_k) \right)$$

$$\widehat{q}_{xy} = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-M_{xy}}^{M_{xy}} W_{xy}(k) \widehat{\gamma}_{xy}(k) \sin(w_k) = \frac{1}{2\pi} \left(+ \sum_{k=1}^{M_{xy}} W_{xy}(k) (\widehat{\gamma}_{xy}(k) + \widehat{\gamma}_{xy}(-k)) \sin(w_k) \right)$$

¹ El sesgo de los estimadores de la función de autocovarianza depende de k, en general cuando mayor es k mayor es la probabilidad de tener un estimador sesgado pero consistente.

Son los estimadores del coespectro y el espectro cuadrado respectivamente. En teoría los puntos de truncamiento y las ventanas de rezago pueden diferir para estimar el valor de los espectros univariados o cruzados para un conjunto de series de tiempo, sin embargo, por simplicidad para el usuario del software se utiliza el mismo punto de truncamiento y ventana de rezago para todos los estimadores espectrales. Una vez se calcula el coespectro y el espectro cuadrado se puede estimar el espectro cruzado de amplitud, de la fase, la función de ganancia y la coherencia de la siguiente manera:

$$\widehat{A}_{xy}(w) = (\widehat{c}_{xy}(w)^2 + \widehat{q}_{xy}(w)^2)^{1/2} \quad \widehat{\phi}_{xy}(w) = \tan^{-1} \left(-\frac{\widehat{q}_{xy}(w)}{\widehat{c}_{xy}(w)} \right)$$

$$\widehat{G}_{xy}(w) = \frac{\widehat{A}_{xy}(w)}{\widehat{f}_x(w)} \quad \widehat{K}_{xy}^2(w) = \frac{\widehat{A}_{xy}(w)^2}{\widehat{f}_x(w)\widehat{f}_y(w)}$$

En la estimación de estas funciones la ventana de rezago impone un peso mayor para la función de autocovarianza ubicada en el rezago 0, en caso de que la relación entre dos series de tiempo sea altamente significativa para otro rezago el estimador de estas funciones es sesgado. Esto puede evitarse con un alineamiento adecuado entre las series de tiempo, en el software se incluye la opción de alinear las series de tiempo para evitar dicho sesgo.

11. Marco conceptual.

En esta sección del documento se explican los principales conceptos teóricos en los que el desarrollo del software esta basado. Y de esta manera la interpretación adecuada de cada una de las funciones espectrales. Vale la pena aclarar que estos conceptos son familiares para los usuarios avanzados de Eviews. Actualmente el paquete de análisis de datos económicos no cuenta con este tipo de herramientas. El espectro cruzado de amplitud $\widehat{A}_{xy}(w)$ se interpreta como la covarianza entre el componente de frecuencia w de x_t y el componente de frecuencia w de y_t . De forma similar la función de ganancia puede interpretarse como el coeficiente de regresión de mínimos cuadrados ordinarios entre el componente de frecuencia w de x_t y el componente de frecuencia w de y_t . Esto sucede debido a que en la regresión lineal $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + u_i$ el estimador de β_1 equivale a $\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ y a que $\int_0^\pi f_x(w) = Var(x)$. Por otro lado, la coherencia al cuadrado equivale al coeficiente de determinación o el R^2 de una regresión entre el componente de frecuencia w de x_t y el componente de frecuencia w de y_t . De la misma manera la coherencia es el coeficiente de correlación entre el componente de frecuencia w de x_t y el componente de frecuencia w de y_t . La coherencia es invariante ante transformaciones lineales, por ejemplo:

$$w_t = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \alpha_k x_{t-k} = \alpha(L)x_t \quad z_t = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \beta_k y_{t-k} = \beta(L)y_t$$

Donde w_t y z_t son transformaciones lineales de x_t y y_t respectivamente. De esta manera el espectro de las dos series de tiempo está dado por:

$$f_w(w) = |\alpha(e^{iw})|^2 f_x(w) \quad f_z(w) = |\beta(e^{iw})|^2 f_y(w) \quad f_{wz}(w) = \alpha(e^{iw})\beta(e^{iw})f_{xy}(w)$$

Y la coherencia:

$$\widehat{K}_{xy}^2(w) = \frac{f_{wz}(w)}{f_z(w)f_w(w)} = \frac{f_{xy}(w)}{f_x(w)f_y(w)}$$

Por lo cual es invariante ante transformaciones lineales. Ahora bien el espectro de fase $\widehat{\phi}_{xy}(w)$ puede interpretarse como el cambio de fase promedio entre el componente de frecuencia w de x_t y y_t , el espectro de fase es una medida que en cuando un componente de una serie lidera al de la otra serie. En términos de tiempo (meses, trimestres, etc) el espectro de fase puede calcularse como $\tau = -\frac{\widehat{\phi}_{xy}(w)}{w}$. Por ejemplo en el modelo $x_t = \alpha y_{t-m} + e_t$ puede demostrarse que el espectro de fase equivale a $\widehat{\phi}_{xy}(w) = -wm$.

12. Objetivos

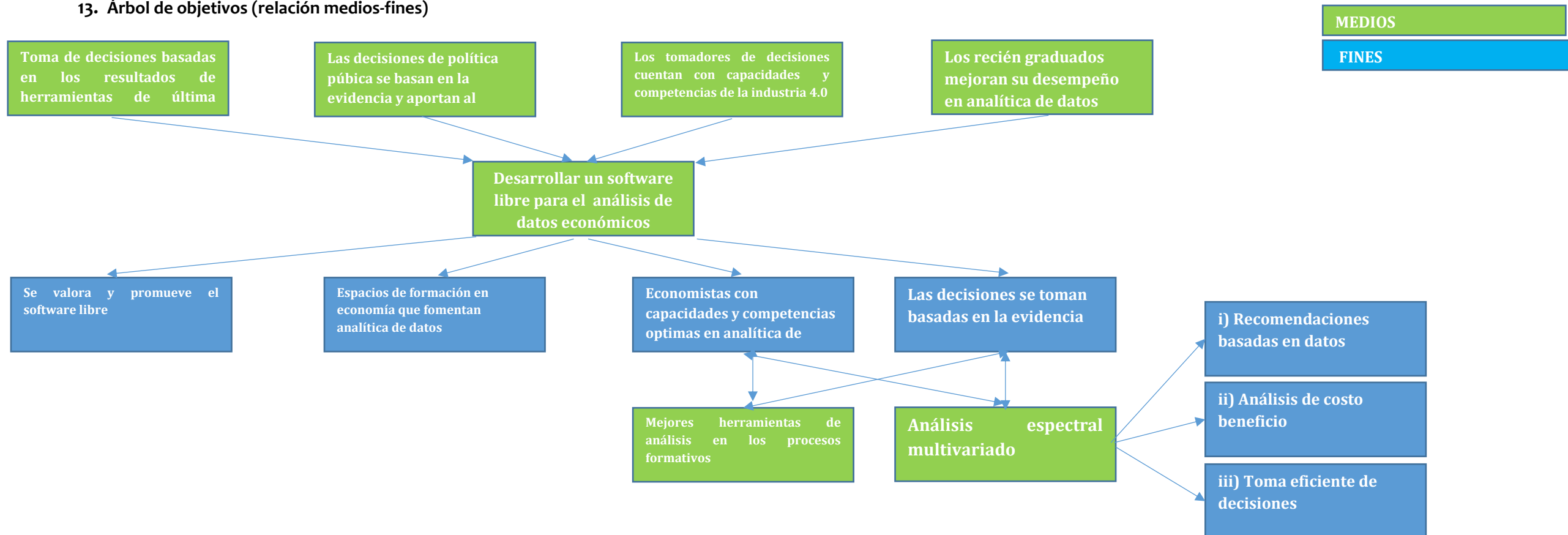
Objetivo general

Desarrollar un software de libre acceso gratuito de forma generalizada, es decir aplicable a cualquier conjunto de datos económicos. El software es titulado “Análisis espectral multivariado: un add-in de Eviews para el análisis de datos económicos”.

Objetivos específicos

- Entender y revisar los conceptos, estimadores y teorías más importantes en el análisis espectral multivariado. Importantes para determinar relaciones causales, evaluar política públicas y pronosticar. Producto relacionado: manual de usuario.
- Caracterizar los potenciales usuarios de Eviews (estudiantes de la USTA y personal externos) y sus necesidades de uso de software.
- Distribuir el código fuente el software usando las herramientas de análisis espectral multivariado usando Eviews.

13. Árbol de objetivos (relación medios-fines)



14. Justificación

Los desarrollos tecnológicos como el propuesto en esta investigación son importantes debido a que permiten mejorar la competitividad tecnológica de las empresas, universidades y los Gobiernos que utilicen estos nuevos desarrollos. De esta manera se puede incrementar los niveles de bienestar de un país, mejorando el ingreso y la calidad de vida vía incrementos en la calidad de la educación superior y mejoras en la productividad, ver Acemoglu et. Al (2012), Maresch et.al (2020), Barbieri et.al (2019) y Vélez-Henao (2019). Igualmente existe evidencia de que más gasto en I+D y mayor número de patentes y sus solicitudes se encuentran altamente relacionados, de forma positiva a nivel macroeconómico, con el crecimiento económico de un país y sus niveles de calidad de vida, ver Blanco et. Al (2020) y Haaseb et.al (2019). Estos resultados son importantes en el corto y largo plazo, resaltando su importancia para cumplirlos en el corto plazo, más que todo en una economía emergente como lo es Colombia.

De acuerdo a estos resultados, la propuesta de investigación del desarrollo del software “Análisis espectral multivariado: un add-in de Eviews” encuentra alineado con los objetivos de desarrollo sostenible (industria, innovación y tecnología), el campo de acción de la USTA de ambiente (ciudades inteligentes), el plan nacional de desarrollo (más inversión pública y privada en I+D) y la misión de sabios de tecnología convergentes. En lo que respecta al PIM, este proyecto de investigación se encuentra articulado con la visión a largo plazo de **“En 2027 la USTA de Colombia será un referente internacional de excelente calidad educativa”**. Por lo cual, se considera que la propuesta de investigación del desarrollo del software es altamente pertinente en un contexto social e institucional.

Ahora bien, ¿por qué se seleccionó la plataforma Eviews para el desarrollo del software? La razón es simple: es bien sabido que Eviews incorpora los desarrollos de frontera en análisis de datos económicos de series de tiempo, ver Solberger et.al (2019) y Kadim et.al (2019) para una revisión y ejemplos del uso de Eviews.

15. Metodología

ETAPA 1 – REVISIÓN DE LITERATURA

La principal tarea de esta primera etapa es hacer una revisión de los conceptos, estimadores y teorías más importantes en el análisis espectral multivariado. Para esto se cuenta con un gran listado de referencias muy importantes del tema, las cuales se listan en la bibliografía y en las secciones de antecedentes y marco conceptual de la presente propuesta de investigación. En dichas secciones se realiza un gran avance de esta primera etapa. Esta etapa también permite la construcción de un manual de usuario del software.

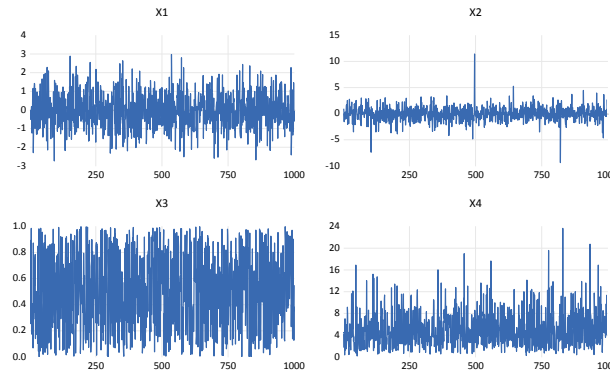
ETAPA 2 – CARACTERIZACIÓN DE USUARIOS

Con base en la etapa 1 se caracterizará a los potenciales usuarios del software “Análisis espectral multivariado” considerando sus necesidades de solución de problemas. Para ello se indagará, en términos agregados, sobre quiénes son los principales usuarios de Eviews y así conocer los potenciales usuarios del add-in.

Población de estudio y criterios de inclusión y exclusión

La propuesta de software permite analizar diversas muestras de series de tiempo. Con la herramienta pueden ser analizados datos de cualquier país o región siempre y cuando se encuentren recopilados en el tiempo. Por lo cual los criterios de inclusión de la población pueden considerarse extremadamente amplios y los de exclusión son los usuarios que no utilicen Eviews. Por ejemplo. Utilizando el software y las herramientas propuestas podrían analizarse la relación existe entre las siguientes series de tiempo.

Grafico 1



Simulaciones de series de tiempo, fuente: elaboración propia

ETAPA 3 – DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE SOFTWARE

Esta etapa consiste en el diseño de la interfaz de usuario, lo cual contiene: i) interfaz de fácil acceso (vía hacer click) ii) interfaz de código (acceso mediante comandos de programación) y iii) elaboración del código fuente del add-in de “Análisis espectral multivariado”. Es importante aclarar que el software estará disponible para acceder al código fuente vía las dos interfaces de usuario. El código fuente se desarrollará con base en la revisión de literatura y la caracterización de usuarios. El código fuente será encriptado. El software tendrá un manual de usuario que describe la revisión de literatura y los detalles del software.

ETAPA 4 – ACCESO AL SOFTWARE

Esta etapa consiste en subir a la plataforma de add-ins en Eviews el código fuente. De esta forma cualquier usuario de Eviews podrá acceder libre y gratuitamente al software “Análisis espectral multivariado”. <https://www.eviews.com/Addins/addins.shtml>

ETAPA 5 – SOLICITUD DEL REGISTRO DE DERECHO DE AUTOR

Por último, se solicitará a la Dirección Nacional de Derechos de Autor un certificado que conste que el software es una elaboración de desarrollo tecnológico con derechos de propiedades intelectual a nombre de los autores.

16. Caracterización y análisis de involucrados²

a. Beneficiario³:

1. Estudiantes de la USTA de los cursos de Econometría I, Econometría II, series de tiempo, modelaje financiero y coyuntura económica de la Universidad Santo Tomás. Estos cursos pertenecen a la facultad de economía y de estadística. Y en este mismo sentido la USTA será beneficiario.
2. Empresas del sector real que utilicen análisis de datos económicos con intereses claros en el uso del software.

² Hace referencia a las personas o entidades que de alguna manera se ven involucradas en el proyecto. En este apartado se describen sus intereses y expectativas frente a la necesidad o el problema y la función que podrían asumir según las siguientes categorías

³ Para el caso de los beneficiarios y cooperantes, se debe explicitar su contribución a futuro, considerando los antecedentes que rodean el problema abordado en el proyecto.

3. Entes del Gobierno que realicen análisis econométricos para la toma de decisiones con intereses en el uso del software.
4. Usuarios del software Eviews.

b. Cooperante²:

1. Universidad Santo Tomás
2. Eviews software Inc.

c. Oponente⁴: Ninguno

d. Perjudicado³: Ninguno

17. Resultados esperados

En línea con los objetivos se espera tener como resultados esperados una herramienta para el análisis de datos económicos titulada “Análisis espectral multivariado: un add-in usando Eviews”. Por ello se tendrá una revisión del estado del arte del análisis espectral multivariado, una caracterización de los potenciales usuarios del software y por último la disponibilidad del mismo de forma libre y gratuita a todos los usuarios. El software contará con registro de derecho de autor.

Se espera que un gran número de usuarios acceda a la rutina de programación, esta se encontrará disponible de forma permanente para todo lo usuarios. De esta manera podrá realizarse un seguimiento y evaluación **al número de descargas** del software por parte de los usuarios.

18. Análisis de alternativas.

En términos generales la problemática abordada es ¿Cómo debe incrementarse el gasto en I+D en Colombia? El medio que se propone aquí es el desarrollo de software, específicamente el “Análisis espectral multivariado: un add-in usando Eviews”. Otra alternativa claramente puede provenir de instituciones que coordinen políticas económicas y sociales, financien proyectos de investigación, el DNP y las recomendaciones de expertos académicos. El gasto en I+D puede también provenir para el desarrollo de patentes y nuevas tecnologías más específicas para cada situación problema y cada industria. En nuestro caso la principal alternativa viable es la financiación por parte de la USTA para el desarrollo del software.

19. Cronograma⁵

Actividad	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Revisión de literatura	X	X	X									
Caracterización de usuarios			X	X								
Diseño y programación del software				X	X	X	X	X	X	X		

⁴ Para el caso de los oponentes y perjudicados, se deben relacionar las estrategias de gestión necesarias para minimizar cualquier efecto adverso o conflicto que pudiera representar para los participantes la ejecución del proyecto.

⁵ Describir de manera secuencial las actividades a desarrollar en cada mes y durante el tiempo de ejecución del proyecto.

Acceso al software											X	X	
Solicitud de registro de derecho de autor												X	X

20. Cadena de valor



21. Productos de investigación esperados⁶

a) Productos asociados a la cadena de valor⁷

Nombre del producto	Manual de usuario del software “Análisis espectral multivariado: un add-in usando Eviews”
¿Cómo se mide?	Numérico
Cantidad:	1
Indicador de producto	Número de manuales de usuario
Objetivo	Entender y revisar los conceptos, estimadores y teorías más importantes en el análisis espectral multivariado.

Nombre del producto	Código fuente del software “Análisis espectral multivariado: un add-in usando Eviews”
¿Cómo se mide?	Numérico
Cantidad:	1
Indicador de producto	Código fuente
Objetivo	Programar el código fuente del software usando las herramientas de análisis espectral multivariado usando Eviews.

b) Productos integrados al sistema nacional de Minciencias⁸

TIPOLOGÍA DEL PRODUCTO	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO
Nuevo Conocimiento	
Desarrollo Tecnológico e Innovación	<i>Software con registro de derecho de autor</i> ante la dirección nacional de derechos de autor
Apropiación Social del Conocimiento	
Formación de Recurso Humano	

⁶ Hace referencia a dos tipos de productos que deben derivar del desarrollo del proyecto

⁷ Son los productos conducentes a cumplir con los objetivos general y específicos del proyecto (como intervenciones, capacidad instalada, atenciones, transferencia social, etc.) Por lo tanto, se incluyen sus indicadores verificables y medibles: 1) nombre del producto; 2) ¿cómo se mide? o ¿a través de qué se mide? 3) cantidad; 4) indicador de producto; y 5) objetivo específico asociado al producto. Puede consultar un ejemplo en Tomado de: Dirección de Inversiones y Finanzas Públicas. (2019). Guía para la construcción y estandarización de la cadena de valor. Disponible en <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Inversiones%20y%20finanzas%20pblcas/Guia%20Cadena%20de%20valor%202019.pdf>

⁸ Son los productos clasificados como generación de nuevo conocimiento; desarrollo tecnológico e innovación; apropiación social del conocimiento, o formación de recurso humano para la CTeI. Remítase al apartado “Tipología de productos derivados de proyectos de investigación y desarrollo social” de esta convocatoria para conocer más detalles.

22. Presupuesto

Archivo adjunto.

Sección II. Consideraciones de ética, bioética e integridad científica⁹

En el desarrollo del software no se cumple ninguna de las seis condiciones establecidas en el apartado. Por lo que se omite totalmente esta sección.

Sección III. Bibliografía y anexos¹⁰

23. Bibliografía

- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hémous, D. (2012). The environment and directed technical change. *American economic review*, 102(1), 131-66.
- Anagnoste, S., & Caraianni, P. (2019). The Impact of Financial and Macroeconomic Shocks on the Entropy of Financial Markets. *Entropy*, 21(3), 316.
- Barbieri, L., Piva, M., & Vivarelli, M. (2019). R&D, embodied technological change, and employment: evidence from Italian microdata. *Industrial and Corporate Change*, 28(1), 203-218.
- Bai, Z., & Silverstein, J. W. (2010). *Spectral analysis of large dimensional random matrices* (Vol. 20). New York: Springer.
- Bai, Z. D. (2008). Methodologies in spectral analysis of large dimensional random matrices, a review. In *Advances In Statistics*(pp. 174-240).
- Belkic, D. (2019). *Quantum-mechanical signal processing and spectral analysis*. CRC Press.
- Blanco, F. A., Delgado, F. J., & Presno, M. J. (2020). R&D Expenditure in the EU: Convergence or Divergence?. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 33(1), 1685-1710.
- Coshall, J. (2000). Spectral analysis of international tourism flows. *Annals of Tourism Research*, 27(3), 577-589.
- Corbae, D., Ouliaris, S., & Phillips, P. C. (1994). A reexamination of the consumption function using frequency domain regressions. *Empirical Economics*, 19(4), 595-609.
- Chong, J., Soufan, O., Li, C., Caraus, I., Li, S., Bourque, G., ... & Xia, J. (2018). MetaboAnalyst 4.0: towards more transparent and integrative metabolomics analysis. *Nucleic acids research*, 46(W1), W486-W494.
- Dash, P. K., Panigrahi, B. K., & Panda, G. (2003). Power quality analysis using S-transform. *IEEE transactions on power delivery*, 18(2), 406-411.
- Fang, C., Tang, Y. H., Xu, Z., Ding, M. D., & Chen, P. F. (2006). Spectral analysis of Ellerman bombs. *The Astrophysical Journal*, 643(2), 1325.

⁹ De ninguna manera esta reflexión puede ser la transcripción de tales documentos

¹⁰ En esta sección se debe incluir un apartado para la lista de referencias bibliográficas citadas en las secciones I y II (sin límite de páginas) y otro para los anexos inherentes a la propuesta, no administrativos (máximo 3 páginas).

Gobierno de Colombia. (2019). Misión de Sabios - 2019. Presidencia de la República - Ministerio de Educación Nacional – Colciencias. Disponible en https://minciencias.gov.co/sites/default/files/libro_mision_de_sabios_digital_1_2_0.pdf

Granger, C. W. J., & Hatanaka, M. (2015). *Spectral Analysis of Economic Time Series.(PSME-1)*. Princeton university press.

Haseeb, M., Kot, S., Hussain, H. I., & Jermittiparsert, K. (2019). Impact of economic growth, environmental pollution, and energy consumption on health expenditure and R&D expenditure of ASEAN countries. *Energies*, 12(19), 3598.

Haykin, S. (Ed.). (2006). *Nonlinear methods of spectral analysis*(Vol. 34). Springer Science & Business Media.

Hamilton, J. D. (1990). Analysis of time series subject to changes in regime. *Journal of econometrics*, 45(1-2), 39-70.

Henry, M., & Zaffaroni, P. (2003). The long-range dependence paradigm for macroeconomics and finance. *Theory and applications of long-range dependence*, 417-438.

Jones, C. M. (2018). *U.S. Patent Application No. 10/151,702*.

Jizba, P., Kleinert, H., & Shefaat, M. (2012). Rényi's information transfer between financial time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(10), 2971-2989.

Kadim, A., & Sunardi, N. (2019, May). Eviews Analysis; Determinan Tourism, Restaurant and Hotel Company's Soundness and Performance. In *Proceeding Interuniversity Forum for Strengthening Academic Competency* (Vol. 1, No. 1, pp. 332-340).

Kühnert, C., Frey, C., & Seyboldt, R. (2019). Detection of Directed Connectivities in Dynamic Systems for Different Excitation Signals using Spectral Granger Causality. In *Machine Learning for Cyber Physical Systems* (pp. 97-106). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Kammer, L. C., Bitmead, R. R., & Bartlett, P. L. (2000). Direct iterative tuning via spectral analysis. *Automatica*, 36(9), 1301-1307.

Lemmens, A., Croux, C., & Dekimpe, M. G. (2008). Measuring and testing Granger causality over the spectrum: An application to European production expectation surveys. *International Journal of Forecasting*, 24(3), 414-431.

Ng, A. Y., Jordan, M. I., & Weiss, Y. (2002). On spectral clustering: Analysis and an algorithm. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 849-856).

Maresch, D., & Gartner, J. (2020). Make disruptive technological change happen-The case of additive manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 155, 119216.

Marple Jr, S. L., & Carey, W. M. (1989). *Digital spectral analysis with applications*.

Mallick, L., Behera, S. R., & Dash, D. P. (2020). Does CPI Granger Cause WPI? Empirical Evidence From Threshold Cointegration and Spectral Granger Causality Approach in India. *The Journal of Developing Areas*, 54(2).

Ostos L. O., & Cortes, M. A. (2019). Los campos de acción en la Universidad Santo Tomás. Resultados del estudio 2012-2018. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía, RIIEP*, 12(1), 15-40.

Queffélec, M. (2010). *Substitution dynamical systems-spectral analysis* (Vol. 1294). Springer.

Rowley, C. W., Mezić, I., Bagheri, S., Schlatter, P., & Henningson, D. S. (2009). Spectral analysis of nonlinear flows. *Journal of fluid mechanics*, 641, 115-127.

Sanders, P., Berenfeld, O., Hocini, M., Jaïs, P., Vaidyanathan, R., Hsu, L. F., ... & Scavée, C. (2005). Spectral analysis identifies sites of high-frequency activity maintaining atrial fibrillation in humans. *Circulation*, 112(6), 789-797.

Sadezky, A., Muckenhuber, H., Grothe, H., Niessner, R., & Pöschl, U. (2005). Raman microspectroscopy of soot and related carbonaceous materials: spectral analysis and structural information. *Carbon*, 43(8), 1731-1742.

Stoica, P., & Moses, R. L. (2005). Spectral analysis of signals.

Schmidt, O. T., Towne, A., Rigas, G., Colonius, T., & Brès, G. A. (2018). Spectral analysis of jet turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*, 855, 953-982.

Stoll, S., & Schweiger, A. (2006). EasySpin, a comprehensive software package for spectral simulation and analysis in EPR. *Journal of magnetic resonance*, 178(1), 42-55.

Strohsal, T., Proaño, C. R., & Wolters, J. (2019). Characterizing the financial cycle: Evidence from a frequency domain analysis. *Journal of Banking & Finance*.

Solberger, M., & Spånberg, E. (2019). Estimating a dynamic factor model in EViews using the Kalman Filter and smoother. *Computational Economics*, 1-26.

Pal, D., & Mitra, S. K. (2019). Oil price and automobile stock return co-movement: A wavelet coherence analysis. *Economic Modelling*, 76, 172-181.

Priestley, M. B. (1981). Spectral analysis and time series.

Vélez-Henao, J. A., Vivanco, D. F., & Hernández-Riveros, J. A. (2019). Technological change and the rebound effect in the STIRPAT model: A critical view. *Energy Policy*, 129, 1372-1381.

Wei, W. W. (2006). Time series analysis. In *The Oxford Handbook of Quantitative Methods in Psychology: Vol. 2*.

24. Anexos inherentes a la propuesta