

Efectos Macroeconómicos de El Niño en Costa Rica

DOCUMENTO DE INVESTIGACIÓN

N° 002 — 2017

Jorge León M.

Enero, 2017





Las ideas expresadas en estos documentos son de los autores y no necesariamente representan las del Banco Central de Costa Rica.

La serie Documentos de Investigación del Banco Central de Costa Rica en versión PDF se encuentra en <http://www.bccr.fi.cr>

Fotografía de portada: “ Los presentes” , conjunto escultórico de nueve figuras en bronce, año 1983, del artista costarricense Fernando Calvo Sánchez. Colección del Banco Central de Costa Rica.

Efectos Macroeconómicos de El Niño en Costa Rica

Jorge León[‡]

Resumen

El presente documento explora los efectos del fenómeno climatológico conocido como El Niño Oscilación Sur (ENSO) en la evolución de los precios y producción de Costa Rica. Para ello se desarrolla un marco teórico relevante y se estiman los efectos de las fluctuaciones del ENSO sobre estas variables. Los resultados sugieren que El Niño tiene un efecto positivo sobre los precios y un efecto negativo sobre la producción.

Palabras clave: Inflación, Crecimiento, ENSO

Clasificación JEL: E31, Q54.

Abstract

The present paper explores the effects of the climatic phenomenon known as El Niño Southern Oscillation (ENSO) in some of the macroeconomic variables of Costa Rica, including the evolution of prices and production. For this, a relevant theoretical framework is developed and the effects of ENSO fluctuations on these variables are estimated. Results suggest a positive effect on prices and a negative effect on production.

Key Words: Inflation, Growth, ENSO

JEL Classification: E31, Q54

[‡]Departamento de Investigación Económica, División Económica, BCCR. Correo electrónico: leonmj@bccr.fi.cr

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. ¿Qué es El Niño? | 3 |
| 2.1. El Niño en Costa Rica | 4 |
| 2.2. ¿Cómo se mide El Niño? | 6 |
| 3. Efectos económicos de El Niño | 8 |
| 4. Modelo teórico | 11 |
| 4.1. Familias | 11 |
| 4.2. Empresas | 12 |
| 4.3. Precios | 14 |
| 4.4. Producción | 16 |
| 4.5. Extensiones | 18 |
| 5. Resultados | 18 |
| 5.1. Datos | 18 |
| 5.2. Modelo econométrico | 19 |
| 5.3. Estimaciones | 20 |
| 6. Conclusiones | 24 |
| 7. Bibliografía | 26 |
| 8. Anexo | 27 |
| 8.1. Función de utilidad | 27 |
| 8.2. Índice de precios basado en el consumidor | 29 |
| 8.3. Empresas | 30 |
| 8.3.1. Demanda factores | 31 |
| 8.4. Precios | 33 |
| 8.5. Producción | 33 |

Índice de figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Impacto climático de El Niño | 4 |
| 2. | Efecto de El Niño precipitaciones mayo 2015 | 5 |
| 3. | Índice ENOS Multivariado 1950-2016 | 7 |
| 4. | Distribución MEI 1950-2016 | 8 |
| 5. | Efecto choque climático sobre producto agrícola | 13 |
| 6. | Efecto sobre y_t para γ y θ | 17 |
| 7. | Choque climático ξ | 19 |
| 8. | Evolución del efecto ξ sobre la inflación | 23 |

Índice de cuadros

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Características regionales promedio de un escenario seco para la fase cálida de un ENOS | 5 |
| 2. | Efecto ENOS en Inflación | 21 |
| 3. | Efecto ENOS cruzados en Inflación | 22 |
| 4. | Efecto ENOS en la brecha de producto | 24 |

Efectos Macroeconómicos de El Niño en Costa Rica

1. Introducción

El presente documento explora los efectos del fenómeno climatológico conocido como El Niño en precios y producción para Costa Rica. Existe relativamente poca literatura sobre este tema a nivel nacional, por tanto esta investigación pretende proveer de un primer análisis que permita a las autoridades tener una mayor comprensión sobre el tema.

El Niño es un fenómeno climatológico, que se relaciona con el calentamiento del Océano Pacífico a nivel ecuatorial. Este calentamiento oceánico crea variaciones en el clima mundial, pero en mayor grado en las regiones colindantes con este océano. Para el caso específico de Costa Rica su efecto sobre el clima es una reducción en las lluvias en la vertiente del Pacífico y un incremento en la vertiente del Atlántico, este efecto heterogéneo sobre las vertientes del país dificulta su estudio pues las consecuencias del fenómeno son particulares a la situación geográfica y cultivos de cada región en el país.

Como consecuencia de este desbalance en precipitaciones en las vertientes del Caribe y el Pacífico del país generan pérdidas de productos en el sector agrícola por sequía y anegamiento de cultivos, así como pérdidas en infraestructura y en algunos casos extremos por inundaciones. Todo lo anterior repercute negativamente sobre la oferta disponible de bienes agrícolas, lo cual hace que sus precios se incrementen y esto a su vez se refleje sobre el nivel de precios al consumidor.

Un segundo efecto sobre los precios es por incremento de costos. Ya sea costos de transporte de mercancías por vías en dañada. O por un incremento en los costos de producción por el uso de técnicas más caras para mitigar el efecto, como lo es el riego. O inclusive la sustitución por productos importados, lo cual afecta la balanza de pagos y el tipo de cambio.

La revolución industrial y el crecimiento económico posterior tanto de economías desarrolladas como en desarrollo ha traído consigo una dependencia de los combustibles fósiles, lo cual a su vez ha generado un incremento en la temperatura promedio del planeta. A este proceso se le ha llamado Calentamiento Global¹. Este cambio en la temperatura y la incertidumbre sobre sus

¹El Calentamiento Global se refiere al aumento gradual de las temperaturas observado en los océanos y la atmósfe-

efectos en la economía global ha hecho que cada vez más los economistas estén interesados en la relación entre el clima, la temperatura, precipitación, tormentas y otros fenómenos meteorológicos con la economía, incluyendo la producción agrícola, la productividad laboral, los precios de las materias primas, conflictos comerciales y crecimiento económico.

Los científicos saben que El Niño contribuye al incremento de la temperatura a nivel global. Pero se sabe relativamente poco del efecto inverso. Cai (2014) Cai et al (2014) sugieren que la aparición de fenómenos de El Niño fuertes puede duplicarse debido al calentamiento global. Utilizando modelos climáticos para proyectar las variaciones en El Niño en los próximos cien años, los autores prevén que Niños extremos pueden llegar a ocurrir cada diez años en lugar de cada veinte. En este sentido Michael Jarraud, ex secretario general de la Organización Meteorológica Mundial, advirtió que El Niño podría estar "moviéndose a un territorio inexplorado". Este fenómeno natural de El Niño y el cambio climático inducido por el hombre pueden interactuar y modificarse mutuamente de formas no experimentada antes".

Los resultados obtenidos en este trabajo prueban que la oscilación climática de El Niño tiene un efecto tanto sobre los precios, como sobre la producción nacional. Si bien este efecto no es constante a lo largo del tiempo, es importante que las autoridades lo tomen en consideración a la hora de analizar el entorno económico. El calentamiento global puede tener un efecto sobre El Niño, por lo cual fenómenos más intensos no pueden descartarse, y la economía debe tomar medidas preventivas que mitiguen su efecto en un futuro.

La baja en la inflación, junto con la diversificación de la producción nacional, son algunas de las fortalezas que tiene la economía de Costa Rica a la hora de enfrentar a El Niño. Sin embargo, políticas dirigidas a los sectores productivos más vulnerables permitirán reducir el costo económico y social de estas perturbaciones climáticas.

El presente documento plantea una base sobre la cual discutir las implicaciones económicas de El Niño, permitiendo pasar de discusiones de carácter anecdótico y sectorial a una discusión más macroeconómica con una base teórica y empírica relevante para nuestra economía.

En la relación entre el clima y la economía todavía hay mucho por estudiar, por lo cual nuevas metodologías y datos que surjan en un futuro serán muy importantes para seguir profundizando en el conocimiento de este tema.

Este documento se estructura de la siguiente forma: la segunda sección describe el fenómeno

ra. El aumento de la temperatura global es un hecho que pocos ponen en duda, lo que todavía genera controversia es la fuente y razón de este aumento de la temperatura. Aun así, la mayor parte de la comunidad científica opina que su origen proviene de los gases de efecto invernadero por las actividades humanas que incluyen deforestación y la quema de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón.

de El Niño y sus efectos sobre los patrones climáticos globales, así como su efecto sobre el clima en Costa Rica. La tercera sección describe los resultados encontrados en la literatura sobre los efectos de El Niño sobre las variables macroeconómicas. La cuarta sección desarrolla un modelo teórico, que permite estudiar los efectos esperados de El Niño sobre la economía. La quinta sección describe los datos y ecuaciones utilizadas para la estimación econométrica, y se comentan los resultados obtenidos. La sexta parte concluye con comentarios finales sobre los resultados obtenidos en esta investigación.

2. ¿Qué es El Niño?

El fenómeno de El Niño es un ciclo climático que tiene su origen en el Océano Pacífico, pero que tiene un impacto sobre los patrones climáticos a nivel global. El ciclo inicia cuando aguas más cálidas ubicadas en la parte occidental del Océano Pacífico cercanas al Ecuador se mueven al este, hacia la costa de Sudamérica.

Para declarar la existencia del fenómeno de El Niño, los meteorólogos no solamente observan la temperatura de la superficie del océano, si no también cambios en los patrones de lluvia y la dirección de los vientos. En condiciones normales los vientos soplan hacia el oeste a lo largo del Ecuador. Durante El Niño disminuyen en el oeste y centro del Océano Pacífico.

También existe el fenómeno opuesto a El Niño, el cual es llamado La Niña. Esta se refiere a periodos en los cuales la superficie del este del Océano Pacífico se encuentra más fría de lo normal. Típicamente La Niña tiene menos efectos negativos que episodios fuertes de El Niño, sin embargo su impacto sigue siendo global. El Niño y La Niña en su conjunto forman parte de una oscilación en el océano y la atmósfera llamada El Niño Oscilación del Sur (ENOS²).

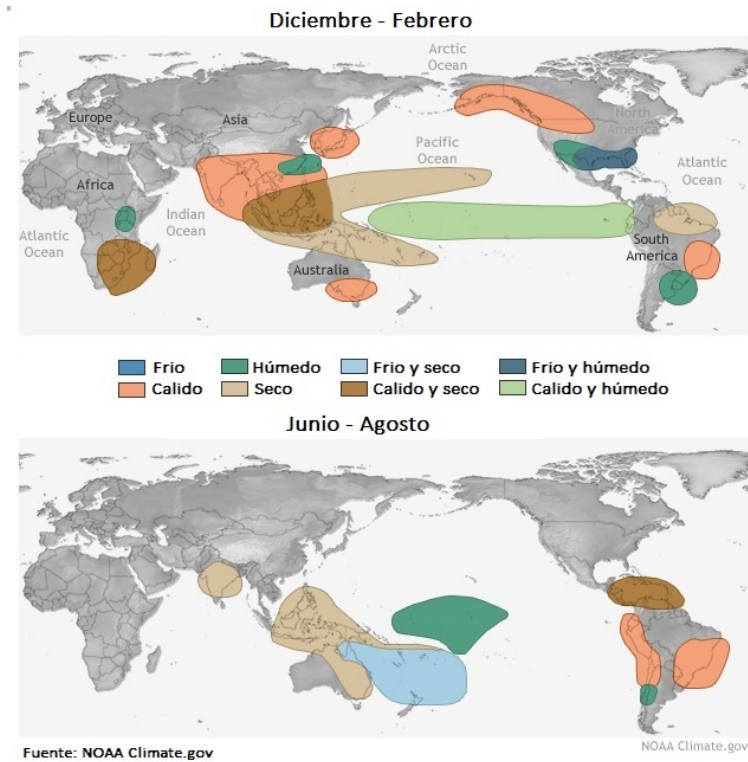
El Niño tiene un ciclo de entre tres y cinco años, su frecuencia no es constante. Cabe destacar que la frecuencia e intensidad parecen haberse incrementado en los últimos años, esto se ha asociado al calentamiento global.

Sin embargo, las características particulares de sus repercusiones difieren mucho de un episodio a otro, aún en el caso de variaciones y pautas semejantes en el Océano Pacífico. Por lo tanto, no se ha establecido una relación cuantitativa precisa entre el fenómeno y los cambios registrados en la producción agrícola, y es difícil pronosticar con precisión las repercusiones de El Niño. Los efectos en la agricultura dependerán decisivamente de la fecha en que se produce El Niño y el

²Conocido también como ENSO por sus siglas en inglés El Niño Southern Oscillation

calendario agrícola de una determinada región.

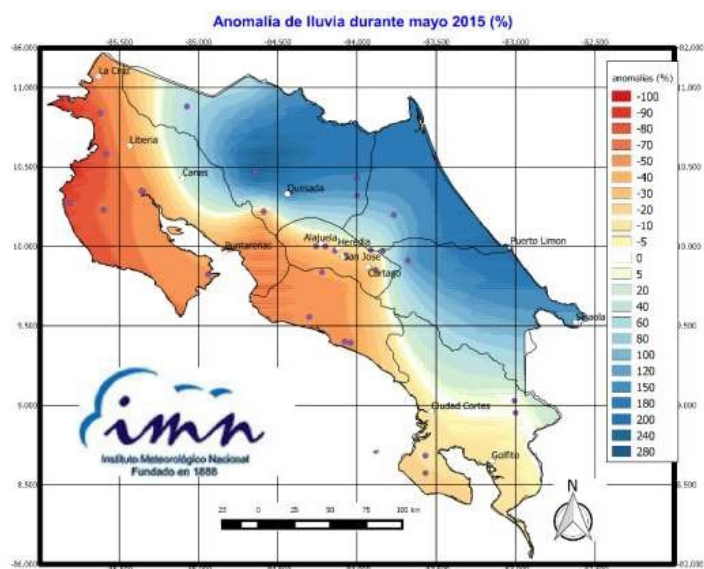
Figura 1: Impacto climático de El Niño



2.1. El Niño en Costa Rica

El efecto de El Niño en Costa Rica es bastante heterogéneo. El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) lleva a cabo varios trabajos de investigación con el objetivo de tener más detalle sobre cómo afecta este fenómeno. Existen sin embargo, algunos efectos bien definidos: la vertiente del Pacífico tiende a mostrar precipitaciones menores, mientras que la vertiente del Atlántico muestra mayores precipitaciones. Tal y como se observa en la figura (2).

Figura 2: Efecto de El Niño precipitaciones mayo 2015



Fuente: IMN

Villalobos y Retana (IMN) realizan un estudio para determinar la reducción promedio de las precipitaciones para las regiones de Costa Rica en un escenario seco para la fase cálida de un ENOS. Así como aproximar la posibilidad de que la región analizada entre en un estado seco. Los resultados se presentan en el cuadro (1). Donde es posible observar como la región del pacífico norte y central, así como la región central son las que enfrentan la mayor reducción en precipitación relativa y por lo tanto, una mayor probabilidad de sequía.

Cuadro 1: Características regionales promedio de un escenario seco para la fase cálida de un ENOS

| Región | Nivel de Reducción | | Probabilidad de seco | |
|------------------|--------------------|-------------------|----------------------|------------|
| | % | m.m. ³ | Cualitativa | Porcentaje |
| Pacífico Norte | 26 | 450 | Alta | 50-80 |
| Región Central | 23 | 500 | Alta | 50-80 |
| Pacífico Central | 26 | 700 | Alta | 50-80 |
| Pacífico Sur | 13 | 500 | Alta | 50-80 |
| Zona Norte | 19 | 500 | Media | 20-50 |
| Central Oriental | 17 | 400 | Media | 20-50 |
| Caribe | 18 | 600 | Baja | 0-30 |

Fuente: IMN

Waylen et al. (1996) estudian las estadísticas de precipitación anuales de más de 100 estaciones en Costa Rica para proporcionar una estimación de los efectos de El Niño (ENSO). Los resulta-

dos son heterogéneos en términos de sequías o precipitaciones excesivas. Los datos sugieren una marcada diferencia en la respuesta en aquellas áreas que drenan hacia el Pacífico y hacia el Caribe, así como las variaciones latitudinales, particularmente a lo largo de la costa del Pacífico. Estas diferencias regionales sobre un área geográfica tan pequeña están relacionadas con procesos complejos que afectan las precipitaciones.

Para el caso específico costarricense un estudio como el presente, se enfrenta a la dificultad que el fenómeno de El Niño no presenta un choque homogéneo sobre el clima, es decir no existe una sequía o exceso de lluvias en todo el país. Por el contrario los estudios muestran que la vertiente del Pacífico muestra una sequía y mientras que la vertiente del Atlántico presenta un exceso de lluvias. Esto complica el análisis, pues en ambas vertientes se realizan procesos productivos, tanto agrícolas como ganaderos, pesqueros, turísticos y de producción hidroeléctrica. Por lo que la producción en ambas vertientes se afecta de manera distinta. Una solución sería contar con una medición de Producto Interno Bruto por vertiente⁴, sin embargo esta variable no está disponible, y su construcción se sale de los objetivos del presente trabajo.

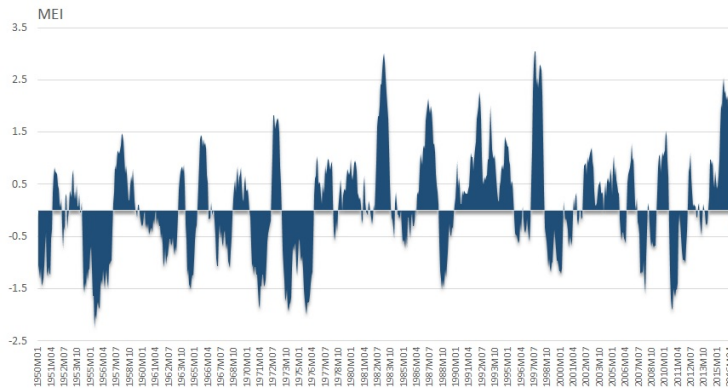
Una forma intuitiva de aproximar este problema, es suponer que el PIB se reparte de manera homogénea entre los trabajadores, y que una mayoría de la población se encuentra en la vertiente pacífica. Esto también es cierto si se aproxima por medio del total del área territorial, donde la vertiente del pacífico es mayor.

2.2. ¿Cómo se mide El Niño?

La medición internacionalmente aceptada para El Niño proviene del Índice de “El Niño-Oscilación del Sur” o ENOS. De acuerdo con el ENOS el fenómeno de El Niño se presenta cuando los valores del índice superan el valor de uno, mientras que el fenómeno de La Niña está presente cuando los valores son inferiores a menos uno.

⁴Esta limitación es válida también para la inflación, puesto que no hay un IPC regional.

Figura 3: Índice ENOS Multivariado 1950-2016

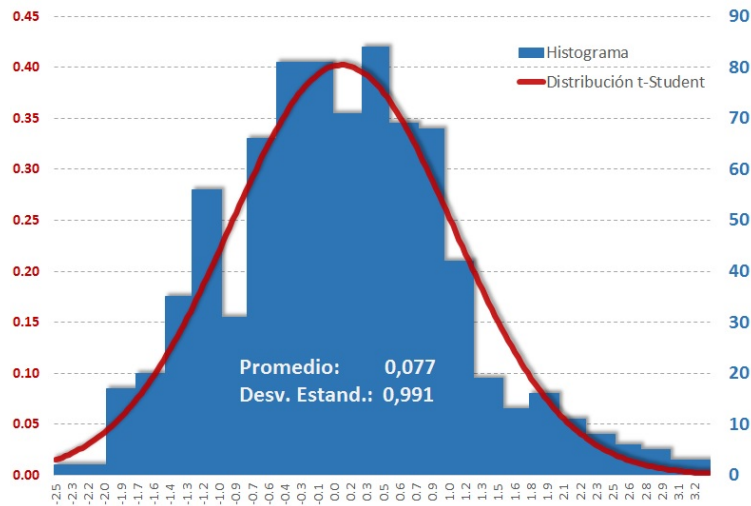


Fuente: Elaboración propia con datos del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

Existen diversos indicadores para medir y dar seguimiento el ENOS. ONI (Ocean Niño Index), es el indicador más común, el cual se basa en la temperatura de la superficie del océano. SOI (Southern Oscillation Index), mide la diferencia entre la presión atmosférica a nivel del mar en Tahití y Darwin⁵. MEI (Multivariate ENSO Index), se basa en variables observables en la zona tropical del Océano Pacífico. Estos son: (i) presión atmosférica a nivel del mar. (ii) dirección de los vientos. (iii) temperatura en la superficie del océano. (iv) temperatura superficial del aire y (v) la nubosidad. El MEI es calculado como el componente principal (CP) de todas las observaciones combinadas. (Wolter and Timlin 1993).

⁵Tahití se encuentra en el Océano Pacífico, mientras que Darwin se ubica en el norte de Australia, ambos en el hemisferio sur.

Figura 4: Distribución MEI 1950-2016



Fuente: Elaboración propia con datos del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

En lo que respecta al presente documento se estudiaron como posibles variables indicativas de la fluctuación climática al ONI, el SOI y el MEI. Luego de analizar los resultados se decidió trabajar con el MEI por recoger la mayor cantidad de información climática por su carácter multidimensional y además porque presentó el mejor ajuste en cuanto a significancia dentro de los modelos econométricos estimados. Se debe aclarar que al ser un índice agregado de condiciones oceánicas no necesariamente su intensidad está perfectamente relacionada con la intensidad del ciclo observado en una región o país específico.

3. Efectos económicos de El Niño

Por lo general se considera que el principal impacto económico de El Niño se da sobre el sector agrícola de las regiones más afectadas. Sin embargo, no hay que descartar que las fluctuaciones de las corrientes marinas, precipitaciones y vientos también tienen impacto sobre otros sectores económicos ya sea de manera directa e indirecta.

Entre los sectores más afectados, se encuentra el pesquero pues el cambio en las temperaturas del océano hace que los peces migren a otras regiones del océano y también llegan a cambiar la profundidad en la que habitan⁶. Por lo tanto, se reduce la cantidad de pesca disponible o es necesario un mayor esfuerzo e inversión para mantener el nivel, con respecto a periodos sin El

⁶Esto es particularmente importante para países con un sector pesquero importante como lo es Perú.

Niño. Esto no solo tiene efecto sobre los precios de los productos marinos, si no que afecta otros sectores dependientes de ellos para su alimentación como es el caso de la producción avícola.

El sector energético también se ve afectado, pues El Niño está asociado con inviernos más cálidos en el hemisferio norte, lo cual hace que los precios de los combustibles fósiles se reduzcan. Por otro lado países dependientes de la energía hidroeléctrica se ven afectados por los cambios en los patrones de lluvia, reduciendo de esta forma la capacidad de producir electricidad por medio de plantas hidroeléctricas⁷, por lo cual deben incrementar la producción de electricidad utilizando combustibles fósiles. El uso de combustibles fósiles encarece la producción de electricidad. Esto hace que los costos de producción aumenten para todas las industrias locales y a la vez afecta la cuenta corriente de la balanza de pago de los países. Otros sectores afectados por estas fluctuaciones climáticas son aquellos que utilizan intensivamente el recurso hídrico, como lo puede ser el turismo y la acuicultura.

Conforme la preocupación de la sociedad y los gobiernos sobre el medio ambiente y su impacto en la economía ha crecido, así la literatura económica relacionada con el impacto de El Niño también se ha incrementado en los últimos años. Esta literatura se puede dividir en dos grupos. Un primer grupo de estudios se concentra en los efectos sobre la agricultura directamente. Un segundo grupo de estudios se ha concentrado en los efectos sobre las variables macroeconómicas.

En el primer grupo tenemos a Funk et al. (2008), y a Battisti y Naylor (2009), los cuales analizan los efectos de las fluctuaciones sobre la producción agrícola y con ello afectan la seguridad alimentaria de los países en desarrollo. A sus vez, estos choques climáticos sobre la oferta tienen consecuencias sobre los precios de los productos básicos y alimentos (Brunner 2002, Chen et al. 2008). Adams et al. (1999) muestran que eventos extremos de ENOS generan pérdidas en la agricultura de Estados Unidos. En especial encuentran que La Niña tiene un impacto más fuerte que El Niño⁸. Hsiang y Meng (2015) muestran que El Niño tiene un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre la producción, el rendimiento y valor agregado agropecuario para un panel de economías tropicales.

Oduber y Ridderstaat (2016) encuentran una relación entre las fluctuaciones climáticas con El Niño en los patrones de demanda de turismo por parte de Estados Unidos, Holanda y Venezuela para Aruba.

Brunner (2002) muestra que El Niño tiene un efecto sobre los precios de los productos básicos,

⁷Esto es particularmente importante para Costa Rica, que depende de la energía hidroeléctrica, así como para los países del resto de Centroamérica, Colombia y Venezuela.

⁸Las estimaciones muestran daños económicos de entre 1,5 y 1,7 miles de millones de dólares para El Niño y entre 2,2 y 6,5 miles de millones de dólares para La Niña.

pero no sobre la inflación del consumidor ni sobre el producto para los países del G7⁹.

Un estudio realizado por Laosuthi y Selover (2007) analizó los efectos de El Niño en veintidós países y encontró que los efectos sobre el crecimiento del PIB y el Índice de Precios al Consumidor por lo general son pequeños, pero estos varían considerablemente entre un país y otro. Los autores encuentran que dado que El Niño tiene un efecto redistributivo en las precipitaciones, tiene efectos tanto negativos como positivos sobre la economía. Por lo tanto, el efecto neto es pequeño. Este resultado es especialmente cierto para economías diversificadas y con áreas geográficas grandes. Por lo que países pequeños con poca diversificación económica y economías dependientes de la agricultura son los más afectados por El Niño.

Laosuthi y Selover (2007) concluyen que una respuesta de política macroeconómica ante El Niño puede ser innecesaria, aunque los efectos de este fenómeno sí deben ser considerados por los hacedores de política. Los autores recalcan que un buen pronóstico de El Niño permitirá a las regiones e industrias más afectadas tener tiempo para tomar medidas para reducir el impacto de este fenómeno climático.

Cashin, Mohaddes, y Raissi (2016) analizan la transmisión de El Niño entre países, concentrándose sobre sus efectos en el PIB y la inflación. Los resultados obtenidos sugieren que los impactos económicos varían de manera considerable a lo largo de diferentes regiones. Donde países como Australia, Chile, India, Indonesia, Japón, Nueva Zelandia y Sudáfrica presentaron una pequeña caída en la actividad económica. Mientras que para Estados Unidos y países europeos el efecto fue positivo. A su vez la mayor parte de los países muestran presiones inflacionarias de corto plazo. Las magnitudes de estas presiones se encuentran directamente relacionadas con el peso de los alimentos dentro de la canasta de consumo.

Para el caso específico de Costa Rica no se encuentra ninguna literatura relacionada con el tema de El Niño sobre variables macroeconómicas. Además, existen pocos estudios a nivel sectorial. Entre estos se puede mencionar los realizados por el IMN que estudian los efectos sobre la producción de langosta, carne, arroz, frijoles y granos básicos. Así como sus efectos sobre inundaciones en Guanacaste e incendios forestales.

Una característica general en la literatura estudiada es la falta de fundamentos teóricos que relacione las fluctuaciones y choques climáticos con las variables económicas. En este sentido los documentos mencionados son de carácter empírico, donde utilizan diversas técnicas econométricas para estimar los efectos sobre la economía. Es por ello que en la siguiente sección se

⁹Se denomina G7 o Grupo de los siete a un grupo de países industrializados del mundo cuyo peso político, económico y militar es muy relevante a escala global. Está conformado por Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón y Reino Unido.

desarrolla un modelo teórico sobre los efectos de choques climáticos sobre una economía.

4. Modelo teórico

En esta sección se desarrolla de manera breve un modelo teórico¹⁰ con el fin de explorar los posibles efectos de El Niño en una economía. Los efectos y sus magnitudes dependen de la reacción que tienen los agentes ante la presencia de El Niño, modelado como un choque climático. Para que el modelo fuera tratable y destacar sobre todo el efecto de un choque climático, el modelo desarrollado es modelo estático para una economía cerrada, con dos sectores y agentes representativos.

4.1. Familias

Se supone que los agentes de la economía poseen una función de utilidad de elasticidad de sustitución constante (CES por sus siglas en inglés) dada por la ecuación (4.1) y con aversión relativa al riesgo constante (CRRA por sus siglas en inglés).

$$U(c_t) = \frac{c_t^{1-\rho}}{1-\rho} \quad (4.1)$$

Donde c_t es una canasta representativa del consumo de la familia en esta economía y ρ es el parámetro que mide el grado de aversión relativa al riesgo implícito en la función de utilidad. Las familias pueden consumir dos tipos de bienes: agrícolas (a) y no agrícolas (n). La proporción está determinada por el coeficiente γ , el cual indica la proporción del consumo destinada a bienes agrícolas, mientras que $(1 - \gamma)$ es la proporción de los bienes no agrícolas¹¹. El coeficiente θ es lo que se conoce como la elasticidad de la demanda al precio ($\theta > 1$).

$$c_t = \left[\gamma^{\frac{1}{\theta}} c_{a,t}^{\frac{\theta-1}{\theta}} + (1 - \gamma)^{\frac{1}{\theta}} c_{n,t}^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} \quad (4.2)$$

La restricción presupuestaria de los hogares depende de los precios ($p_{a,t}$ y $p_{n,t}$) y las cantidades

¹⁰En el anexo se desarrolla el modelo de manera completa.

¹¹Desde la perspectiva del Índice de Precios al Consumidor (IPC), γ representa la ponderación de los bienes de consumo final agrícola en la canasta de consumo. Este modelo no toma en consideración consumos intermedios, por lo tanto γ también representa el peso del sector agrícola en el Producto Interno Bruto (PIB).

consumidas ($c_{a,t}$ y $c_{n,t}$) de bienes agrícolas y no agrícolas respectivamente:

$$p_t c_t = p_{a,t} c_{a,t} + p_{n,t} c_{n,t} \quad (4.3)$$

Donde p_t es el nivel de precios agregado en la economía. La familia representativa maximiza su función de utilidad sujeta a la restricción presupuestaria, y con ello se obtienen las demandas para cada uno de los respectivos bienes. Las cuales dependen de manera negativa de la relación de precios $\frac{p_{a,t}}{p_t}$.

$$c_{a,t} = \gamma \left(\frac{p_{a,t}}{p_t} \right)^{-\theta} c_t \quad (4.4)$$

$$c_{n,t} = (1 - \gamma) \left(\frac{p_{n,t}}{p_t} \right)^{-\theta} c_t \quad (4.5)$$

El nivel de precios agregado de esta economía se deriva utilizando las ecuaciones (4.3), (4.4) y (4.5) para obtener el índice de precio basado en el consumidor: $p_t = [\gamma p_{a,t}^{1-\theta} + (1 - \gamma) p_{n,t}^{1-\theta}]^{\frac{1}{1-\theta}}$

4.2. Empresas

La economía tiene dos sectores productivos, un sector agrícola y otro no agrícola. Las empresas producen bienes agrícolas y no agrícolas en un mercado de competencia monopolística en cada sector. Existen dos tipos de insumos: la mano de obra ($l_{i,t}$) y el capital ($k_{i,t}$). Ambos insumos no son especializados por sector, por lo cual existe un único mercado para cada uno de ellos.

La función de producción para las empresas no agrícolas es tipo Cobb-Douglas ecuación (4.6), donde el parámetro α_n ¹² indica la intensidad de uso de la mano de obra en este sector.

$$y_{n,t} = A_{n,t} k_{n,t}^{1-\alpha_n} l_{n,t}^{\alpha_n} \quad (4.6)$$

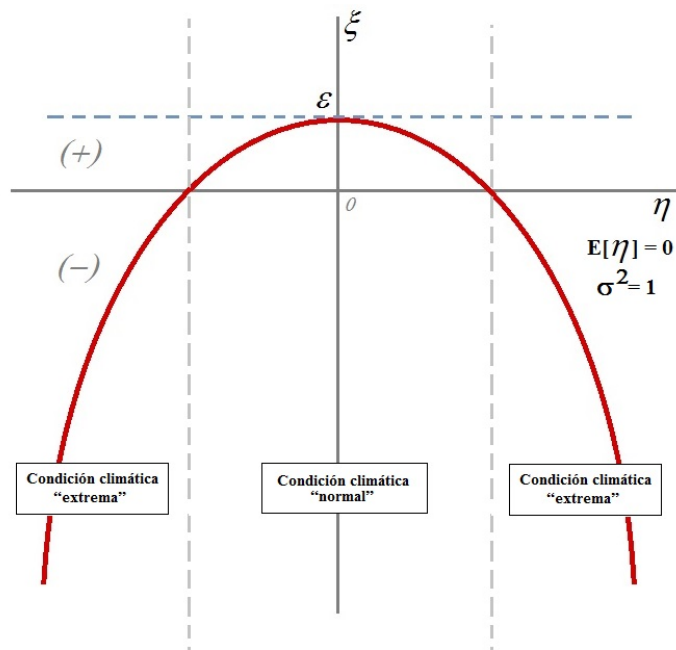
Por otra parte la función de producción de los empresarios agrícolas se diferencia por cuanto su producción depende de las condiciones climatológicas (η), y tiene la siguiente forma funcional:

$$y_{a,t} = A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a} e^{-\phi(\eta_t^2 - \epsilon)} \quad (4.7)$$

¹² $\alpha_{i,t} \in [0, 1]$

El último término de la ecuación (4.7) mide el impacto que tiene el comportamiento del clima sobre la producción de los bienes agrícolas. La función está constituida por η que es la desviación normalizada de las condiciones climáticas¹³ (precipitaciones, humedad, *temperatura*, etc.) con respecto a su promedio. El parámetro η está elevado al cuadrado pues desviaciones tanto positivas como negativas de las condiciones climáticas típicas tendrán un efecto negativo sobre la producción¹⁴. El coeficiente ϵ representa el punto de quiebre donde las condiciones climáticas se vuelven adversas, ϵ es diferente de cero pues se asume que los productos agrícolas pueden tolerar cierto nivel de fluctuación climática sin que esto tenga efectos negativos en su productividad. Finalmente, el parámetro ϕ que toma valores en $[0, \infty]$, y cuantifica de forma directa el efecto de las desviaciones del clima promedio en la región sobre la productividad. La figura (5) muestra de manera gráfica el término $\xi_t = -\phi(\eta_t^2 - \epsilon)$.

Figura 5: Efecto choque climático sobre producto agrícola



Fuente: Elaboración propia.

Una ventaja de construir el choque climático con la especificación dada por ξ es que si $E_t[\eta] = \epsilon$, entonces $E_t[\xi] = 0$, por lo tanto para valores de $\eta \in (-\epsilon, \epsilon)$ el choque será positivo debido a condiciones climáticas benéficas para la producción agrícola, mientras que para $|\eta| > \epsilon$ las

¹³En el caso particular del presente trabajo η representa el ENOS, donde valores positivos por encima del promedio representan el fenómeno de El Niño y valores negativos por debajo del promedio representan La Niña.

¹⁴En el caso del ENOS esto implica que sequías y lluvias excesivas tendrían un efecto simétrico y negativo sobre la producción agrícola.

condiciones serán desventajosas.

La función de costos para ambos sectores (agrícola y no agrícola) es: $g_{i,t} = r_t k_{i,t} + \frac{w_t}{p_t} l_{i,t}$. Por simplicidad se hace el supuesto que las curvas de ambos insumos son perfectamente elásticas. Por lo tanto el precio de los factores r_t y w_t son constantes e idénticos entre sectores.

La decisión que deben tomar las empresas en el sector agrícola es la cantidad de insumos a demandar dada las funciones de costos y producción. Para ello minimizan los costos mediante la ecuación (4.8).

$$\min_{(l,k)} \left[r_t k_{a,t} + \frac{w_t}{p_t} l_{a,t} \right] + \varphi_{i,t} (y_{a,t} - A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a} e^{-\phi(\eta_i^2 - \epsilon)}) \quad (4.8)$$

Las condiciones de primer orden de la ecuación (4.8) para la minimización de los costos para cada uno de los insumos se presentan en las ecuaciones (4.9) y (4.10).

$$\frac{w_t}{p_t} - \varphi_{a,t} (\alpha_a A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a - 1} e^{-\phi(\eta_i^2 - \epsilon)}) = 0 \quad (4.9)$$

$$r_t - \varphi_{a,t} ((1 - \alpha_a) A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a} e^{-\phi(\eta_i^2 - \epsilon)}) = 0 \quad (4.10)$$

Combinando las ecuaciones (4.9) y (4.10) y despejando para $l_{a,t}$ se puede obtener φ es igual a los costos marginales reales de la firma en términos de $l_{a,t}$, como se muestra en la ecuación (4.11).

$$\varphi_{a,t} = \frac{1 - \alpha_a}{\alpha_a} \frac{w_t}{p_t} \frac{l_{a,t}}{\alpha_a y_{a,t}} \quad (4.11)$$

4.3. Precios

Las firmas del sector agrícola a su vez deben decidir el precio óptimo al cual vender su producto. El precio óptimo es aquel precio que maximice sus beneficios, tomando en cuenta la función de demanda del producto y los costos marginales. Donde la función de beneficios esta dada por la ecuación (4.12)

$$\Pi_{a,t} = p_{a,t} c_{a,t} - \varphi_{a,t} c_{a,t} \quad (4.12)$$

Utilizando la ecuación de demanda del bien agrícola (4.4), e introduciéndola en la ecuación (4.12) se obtiene:

$$\Pi_{a,t} = \gamma \left(\frac{p_{a,t}}{p_t} \right)^{1-\theta} c_t - \varphi_{a,t} \gamma \left(\frac{p_{a,t}}{p_t} \right)^{1-\theta} c_t \quad (4.13)$$

Maximizando la ecuación (4.13) con respecto los precios ($p_{a,t}$) se obtiene la condición de primer orden dada por la ecuación (4.14). La cual indica que las empresas del sector agrícola cobrarán un precio igual a un "mark-up" ($\mu = \frac{\theta}{1-\theta}$) sobre su costo marginal real ($\varphi_{a,t}$).

$$\frac{p_{a,t}}{p_t} = \frac{\theta}{1-\theta} \varphi_{a,t} \quad (4.14)$$

Si se sustituye la función producción del sector agrícola dada por la ecuación (4.7) dentro de la función de costo marginal dada por la ecuación (4.11) y esta a su vez también se sustituye en la ecuación anterior (4.14).

$$p_{a,t} = \frac{\theta}{1-\theta} \frac{1-\alpha_a}{\alpha_a} w_t (\alpha_a A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a-1} e^{-\phi(\eta_t^2-\epsilon)})^{-1} \quad (4.15)$$

Una vez obtenida la ecuación (4.15), en la cual los precios del bien agrícola dependen del efecto de choques climáticos ξ_t , es posible log-linearizar¹⁵ esta ecuación para obtener una función más sencilla de la dinámica de los precios del bien agrícola, dada por la ecuación (4.16)

$$\hat{p}_{a,t} = \hat{w}_t - \hat{A}_{a,t} - (1-\alpha_a) \hat{k}_{a,t} + \phi(\eta_t^2 - \epsilon) \quad (4.16)$$

Donde se define $\kappa_{a,t}$ la relación capital trabajo ($K_{a,t}/L_{a,t}$) log-linearizada ($\hat{k}_{a,t} - \hat{l}_{a,t}$).

Si se utiliza la versión log-linearizada del nivel de precios basado en el consumidor, se obtiene la ecuación (4.17) donde el nivel de precios depende de los precios de los bienes de ambos sectores de la economía.

$$\hat{p}_t = \gamma \hat{p}_{a,t} + (1-\gamma) \hat{p}_{n,t} \quad (4.17)$$

Sustituyendo en la ecuación (4.17), la ecuación (4.16) y su similar para la evolución de los precios

¹⁵Donde \hat{x}_t indica el porcentaje de desviación de la variable x_t alrededor del estado estacionario.

del sector no agrícola, se obtiene la ecuación (4.18)

$$\hat{p}_t = \gamma[\hat{w}_t - \hat{A}_{a,t} - (1 - \alpha_a)\hat{\kappa}_{a,t} + \phi(\eta_t^2 - \epsilon)] + (1 - \gamma)[\hat{w}_t - \hat{A}_{n,t} - (1 - \alpha_n)\hat{\kappa}_{n,t}] \quad (4.18)$$

Con el fin de simplificar el análisis y resaltar el efecto del choque climático, es posible simplificar la ecuación (4.18). Bajo el supuesto de que el salario es el mismo para ambos sectores y si la oferta de insumos es perfectamente elástica se tiene que las empresas no tienen motivos para cambiar la composición del uso de los insumos, por lo tanto $\hat{\kappa}_{i,t} = \hat{\kappa}_i = 0$. Finalmente, si se emplea el supuesto de que choques de productividad son idénticos en ambos sectores $\hat{A}_t = \hat{A}_{a,t} = \hat{A}_{n,t}$. Luego de estos cambios se obtiene una ecuación simplificada (4.19).

$$\hat{p}_t = \hat{w}_t - \hat{A}_t + \gamma\phi(\eta_t^2 - \epsilon) \quad (4.19)$$

Por lo tanto el modelo económico sencillo desarrollado en esta sección tiene una ecuación de comportamiento de los precios que depende negativamente del crecimiento en la productividad total de los factores (\hat{A}_t) y positivamente del choque climático ($\eta_t^2 - \epsilon$) y de los salarios \hat{w}_t .

4.4. Producción

Para obtener el efecto del choque climático sobre el producto se combina las demandas de los productos agrícolas y no agrícolas dadas por las ecuaciones. (4.4) y (4.5):

$$c_{n,t} = \frac{\gamma}{1 - \gamma} \left(\frac{p_{n,t}}{p_{a,t}} \right)^{-\theta} c_{a,t} \quad (4.20)$$

En equilibrio la demanda del producto y su producción deben ser iguales, es decir $c_{n,t} = y_{n,t}$ y $c_{a,t} = y_{a,t}$. A su vez el producto total de la economía es la suma de la producción de ambos sectores $y_t = y_{a,t} + y_{n,t}$. Utilizando estas igualdades se obtiene que:

$$y_t = \left[1 + \frac{\gamma}{1 - \gamma} \left(\frac{p_{n,t}}{p_{a,t}} \right)^{-\theta} \right] y_{a,t} = A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a} e^{-\phi(\eta_t^2 - \epsilon)} \quad (4.21)$$

Al loglinearizar la ecuación (4.22) se obtiene la evolución del producto:

$$\hat{y}_t = \theta(\hat{p}_{a,t} - \hat{p}_{n,t}) + \hat{A}_t - \phi(\eta_t^2 - \epsilon) \quad (4.22)$$

Utilizando la ecuación (4.16) se puede definir la evolución del producto en función del choque climático:

$$\hat{y}_t = \theta(\phi(\eta_t^2 - \epsilon) - \gamma\phi(\eta_t^2 - \epsilon)) - \phi(\eta_t^2 - \epsilon) \quad (4.23)$$

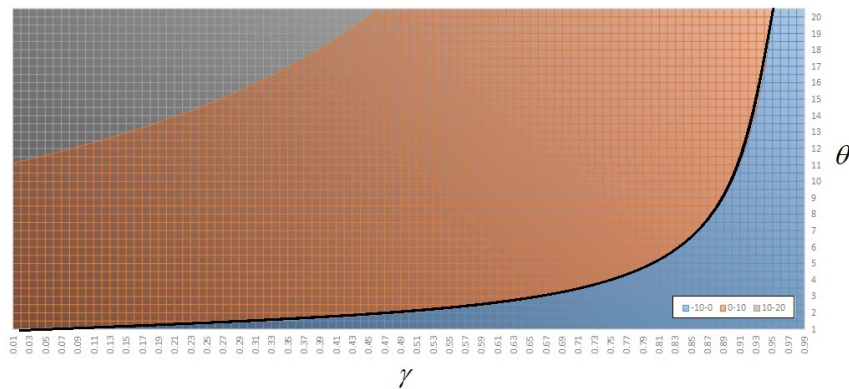
Simplificando tenemos que:

$$\hat{y}_t = ((1 - \gamma)\theta - 1)\phi(\eta_t^2 - \epsilon) \quad (4.24)$$

Al estudiar la ecuación (4.24) se observa que el efecto del choque climático sobre el producto depende del tamaño del sector agrícola en las preferencias del consumidor γ y en la elasticidad de la demanda θ .

$$\theta \leq \frac{1}{(1 - \gamma)} \quad (4.25)$$

Figura 6: Efecto sobre y_t para γ y θ



Fuente: Elaboración propia.

Tal y como lo muestra la figura (6) existen valores de γ y θ para los cuales el efecto neto de un choque climático es sobre el producto total de la economía es positivo. Esto va en general en contra de la intuición de que choques climáticos son netamente negativos. Por lo tanto, el signo esperado del choque climático sobre la economía dependerá de factores idiosincráticos.

Sin embargo, cabe destacar que el modelo predice que economías altamente diversificadas, es decir γ bajo, pueden no verse afectadas o inclusive tener efectos positivos ante este tipo

de choques. Otra conclusión es que entre mayor sea el nivel de competencia en la economía, θ alto, que implican menores "mark-ups" menor será el efecto de los choques sobre la producción.

4.5. Extensiones

Si se abre la economía de este modelo al comercio internacional, es de esperar que un choque climático tenga un efecto sobre la balanza de pagos, incrementando las importaciones, depreciando el tipo de cambio, lo cual reforzaría el choque positivo sobre precios.

El modelo es estático, por lo tanto su capacidad de análisis es limitado, extender el modelo a un ámbito dinámico puede resultar útil para estudiar el efecto de los choques climáticos sobre las expectativas de inflación, así como estudiar el impacto que la expectativa de choques climáticos futuros pueda tener sobre la inversión.

5. Resultados

En esta sección se presenta el modelo econométrico por estimar; los datos y fuentes utilizados para la estimación y los principales resultados obtenidos.

5.1. Datos

Las fuentes de los datos económicos son el Banco Central de Costa Rica, y la base de datos FRED de la Reserva Federal de St. Louis. Los datos climáticos se obtuvieron del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica y el *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) del gobierno de Estados Unidos.

La frecuencia empleada en el estudio es mensual, esto con el fin de capturar de manera correcta el inicio y el fin de las fluctuaciones del ENOS. Así mismo, el periodo analizado abarca del año 1977 al 2016, este periodo relativamente largo fue seleccionado debido a que la aparición de las fluctuaciones del ENOS se dan en periodos largos, y se desea capturar la relación histórica entre estas y las variables económicas. No se puede extender el periodo más hacia atrás debido a la disponibilidad de datos.

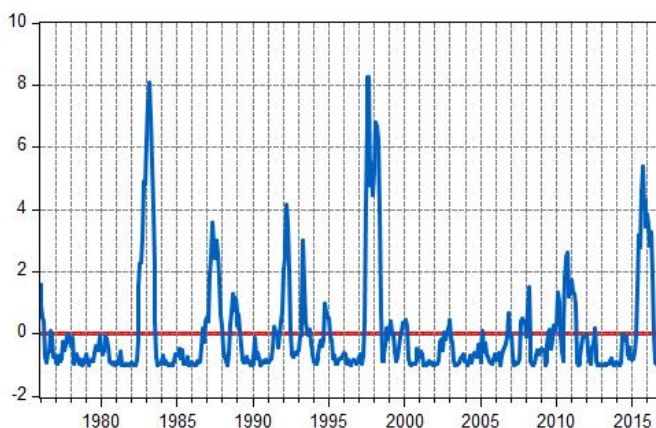
Cabe destacar que por lo amplio de la muestra utilizada para el análisis, es posible que existan importantes quiebres estructurales debidos a cambios en la canasta de consumo utilizada para

la medición del IPC, así como a cambios en la estructura productiva del país, en este sentido se incluyeron variables dicotómicas para intentar controlar por estos quiebres cuando fuese posible.

Las series utilizadas son la inflación interanual del IPC de Costa Rica y de Estados Unidos, el producto interno bruto real de Costa Rica y Estados Unidos mensualizados, el IMAE de Costa Rica, el tipo de cambio nominal, los precios del barril de petróleo WTI, el índice multivariado del ENOS.

La construcción de la variable ξ_t se realizó utilizando como η_t al índice multivariado ENOS elevado al cuadrado, mientras que el promedio observado en la muestra de η_t^2 , fue utilizado como aproximación del valor de ϵ , el cual fue de 0,9887 muy cercano a un valor unitario. Por simplicidad este último fue redondeado a 1. Por lo que el valor esperado de ξ_t es igual a cero. Esto implica que el efecto esperado de las condiciones climáticas para la productividad de la economía es cero. La variable calculada del choque climático ξ para el periodo se presenta en la Figura (7). Donde valores mayores a cero implican efectos negativos sobre la producción debido al ENOS.

Figura 7: Choque climático ξ



Fuente: Elaboración propia.

5.2. Modelo econométrico

La especificación econométrica empleada para la inflación se presenta en la ecuación (5.1)). Esta se deriva de la ecuación (4.19) de la sección anterior. En donde la inflación depende negativamente del crecimiento en la productividad promedio, y positivamente del crecimiento en los salarios y el choque climático. En la especificación teórica, la inflación en salarios representa el crecimiento en el costo de los insumos para la producción. Para una economía pequeña y abierta tomadora

de precios como es el caso de Costa Rica, los costos de los insumos están altamente relacionados con los costos de los bienes importados, por lo tanto se utiliza como aproximación de estos costos la evolución de los precios internacionales y el tipo de cambio.

$$\pi_t = \beta_0 + \beta_1\pi_t^* + \beta_2\dot{e}_t + \beta_3\hat{A}_t + \beta_4f(\xi_t) + \mu_{t,\pi} \quad (5.1)$$

Donde π_t es la inflación interanual del IPC; π_t^* es la inflación interanual de precios al consumidor de Estados Unidos, como proxy para la inflación internacional; \dot{e}_t es la variación interanual del tipo de cambio nominal; \hat{A}_t se aproxima mediante la brecha de producto¹⁶. Finalmente se prueban diversas especificaciones para el choque climático $f(\xi_t)$.

Así como la ecuación por estimar de la inflación se deriva del modelo teórico, esto también sucede para la ecuación de la brecha del producto, la cual se deriva de la ecuación (4.22).

$$\hat{y}_t = \beta_0 + \beta_1\hat{A}_t^* + \beta_2f(\xi_t) + \mu_{t,\hat{y}} \quad (5.2)$$

Donde la brecha¹⁷ de producto \hat{y}_t es función de la brecha de producto externa \hat{A}_t^* en este caso aproximada mediante la brecha de producto de Estados Unidos y las diversas especificaciones del choque climático $f(\xi_t)$.

5.3. Estimaciones

Para el caso del choque climático ξ_t se utilizan diversas especificaciones: (i) la primera es $(\eta_t^2 - \epsilon)$, tal y como se describe en la sección de datos. (ii) La segunda especificación separa el índice multivariado ENOS en valores positivos y los valores negativos multiplicados por menos uno, para considerar la posible asimetría del efecto de El Niño y La Niña. (iii) Una tercera especificación es similar a la anterior pero los valores están elevados al cuadrado, para medir si la intensidad de las fluctuaciones tienen un mayor efecto. (iv) Como control se incluye una especificación donde se crea una variable dicotómica para cuando las fluctuaciones sean mayores a uno.

Los resultados de las estimaciones se presentan en el cuadro (2). La inflación de Estados Unidos muestra un coeficiente cercano a cero y estadísticamente significativo para todas las especificaciones, es decir que existe un traspaso completo de los precios internacionales a los precios

¹⁶La brecha de producto está definida como la desviación del producto con respecto al potencial, este último estimado mediante el filtro de Hodrick-Prescott.

¹⁷Se utiliza la especificación en brechas, pues el modelo teórico supone un crecimiento potencial igual a cero.

locales. De manera similar la variación del tipo de cambio también es altamente significativa, con t-student cercanas a seis, sin embargo en esta caso el traspaso es incompleto, con valores cercanos a 0,3; es decir que un incremento en el tipo de cambio de un 1 %, incrementa la inflación en 0,3 %. Este resultado está en línea con estimaciones similares llevadas a cabo por el BCCR. La brecha de producto también muestra un efecto significativo y positivo, por lo que los precios sí se ven afectados por presiones de demanda, este resultado es compatible con las estimaciones de la curva de Philips para Costa Rica.

Cuadro 2: Efecto ENOS en Inflación

| Variable | coef. | t-stad. | coef. | t-stad. | coef. | t-stad. | coef. | t-stad. |
|------------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| c | 0.083 | 10.5 | 0.039 | 3.9 | 0.061 | 7.0 | 0.062 | 6.8 |
| π_{t-7}^* | 1.070 | 6.5 | 1.104 | 6.7 | 1.069 | 6.5 | 1.155 | 6.7 |
| \hat{e}_{t-3} | 0.289 | 19.2 | 0.293 | 19.4 | 0.289 | 19.1 | 0.289 | 18.5 |
| \hat{y}_{t-15} | 0.628 | 2.9 | 0.606 | 2.8 | 0.629 | 2.9 | 0.481 | 2.2 |
| ξ | 0.023 | 9.4 | | | | | | |
| $ni\tilde{n}o$ | | | 0.058 | 9.2 | | | | |
| $ni\tilde{n}o^2$ | | | | | 0.023 | 9.3 | | |
| $ni\tilde{n}o_d$ | | | | | | | 0.081 | 7.6 |
| $ni\tilde{n}a$ | | | 0.049 | 4.2 | | | | |
| $ni\tilde{n}a^2$ | | | | | 0.023 | 2.8 | | |
| $ni\tilde{n}a_d$ | | | | | | | 0.035 | 2.2 |
| d | -0.066 | -6.0 | -0.065 | -5.9 | -0.066 | -6.0 | -0.063 | -5.6 |
| $R^2 Ajust.$ | 0.68 | | 0.68 | | 0.68 | | 0.66 | |

Fuente: Elaboración propia.

La variable dicotómica para capturar el quiebre estructural en la inflación a partir del años 2009, resultó altamente significativa y con un valor promedio de $-0,06$, es decir que la inflación en los últimos ocho años ha caído en alrededor de 6 puntos porcentuales. Esto va acorde con la reducción de la inflación observada, la cual pasó a valores cercanos a la meta de inflación planteada por el Banco Central de 3 %.

El choque climático, muestra un efecto positivo en todas sus especificaciones, y además es estadísticamente significativo. Los resultados también muestran que El Niño tiene un efecto inflacionario marginalmente mayor que La Niña, pero ambos fenómenos son inflacionarios. Esto confirma la teoría de que un choque negativo sobre los productos afectados por el clima ha incidido sobre la dinámica inflacionaria del país. Además, la intensidad de las fluctuaciones del ENOS aproximada por la especificación cuadrática tiene un impacto sobre la inflación. Este resultado indica que las autoridades monetarias deben darle seguimiento a El Niño en particular, pero también a las variables climáticas en general.

Es factible pensar que el efecto sobre los precios del choque climático no sea constante, y que dependa del estado de la economía, para ello utilizando la especificación anterior, se le agrega la estimación de efectos cruzados de ξ_t con respecto a la inflación promedio observada de los últimos cuatro meses ($\bar{\pi}$), y la brecha del producto (\hat{y}). Los resultados se resumen en el cuadro (3).

La inclusión de los efectos cruzados no tiene un efecto importante sobre los coeficientes estimados para la inflación de Estados Unidos, la variación de tipo de cambio o la brecha del producto. Sin embargo los resultados sugieren que el efecto sobre la inflación de las fluctuaciones del ENOS se ven incrementados por niveles de inflación altos, es decir que en estados de alta inflación, los incrementos en los costos debidos a cambios climáticos son traspasados más fácilmente a los precios de estos productos, a su vez puede existir un efecto sobre las expectativas de inflación, que hagan que este aumento de los precios se transmita vía expectativas a otros precios dentro de la canasta de consumo.

Algo similar también se presenta para la brecha de producto, donde los fenómenos de El Niño y La Niña serán más inflacionarios si la economía está creciendo por encima de su potencial. Desde el punto de vista de política monetaria esto sugiere que en una economía recalentada con inflaciones altas, los efectos climáticos tendrán un mayor impacto sobre la inflación, y esto puede llegar a afectar la evolución de los precios futuros.

Cuadro 3: Efecto ENOS cruzados en Inflación

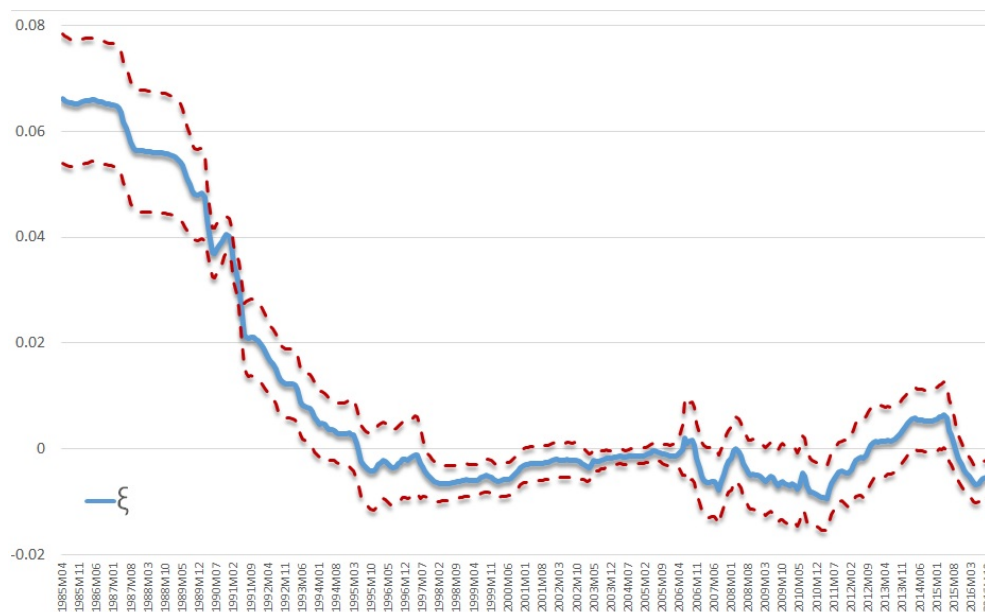
| Variable | coef. | t-stad. | coef. | t-stad. |
|---------------------------|--------|---------|--------|---------|
| c | 0.084 | 13.47 | 0.081 | 13.38 |
| π_{t-7}^* | 0.805 | 6.12 | 0.629 | 6.46 |
| \dot{e}_{t-3} | 0.296 | 25.03 | 0.242 | 26.67 |
| \hat{y}_{t-15} | 0.291 | 1.72 | 0.269 | 2.15 |
| ξ | -0.011 | -4.03 | | |
| $\xi * \bar{\pi}$ | 0.131 | 12.16 | | |
| $\xi * \hat{y}$ | 0.368 | 3.11 | | |
| <i>niño</i> | | | -0.038 | -7.87 |
| <i>niño</i> * $\bar{\pi}$ | | | 0.361 | 24.64 |
| <i>niño</i> * \hat{y} | | | 1.074 | 6.89 |
| <i>niña</i> | | | -0.028 | -2.13 |
| <i>niña</i> * $\bar{\pi}$ | | | 0.364 | 3.82 |
| <i>niña</i> * \hat{y} | | | -0.245 | -0.48 |
| d | -0.055 | -6.33 | -0.033 | -4.72 |
| $R^2 Ajust.$ | 0.80 | | 0.89 | |

Fuente: Elaboración propia.

También se consideró la posibilidad que el efecto de ξ_t no fuera constante en el tiempo, es decir

que el coeficiente asociado a esta variables cambiara a lo largo del periodo analizado. Para ello se realizó una regresión con ventana móvil de ocho años, con la primera especificación de la ecuación por estimar. El coeficiente estimado y sus límites de confianza se resumen en el gráfico (8).

Figura 8: Evolución del efecto ξ sobre la inflación



Fuente: Elaboración propia.

Como se desprende del gráfico (8) al inicio del periodo el efecto era alto y estadísticamente significativo. Entre los años 1985 y 1993 el coeficiente siguió siendo positivo y significativo pero con una clara tendencia a la disminución. Para el periodo 2013-2015 el efecto vuelve a ser positivo y significativo, para caer nuevamente al final de la muestra. Estos resultados pueden deberse a cambios en la estructura productiva del país, con una mayor diversificación de la producción y por una reducción en la importancia relativa de los precios de los sectores afectados por el ENOS en la canasta de consumo representativa del IPC.

La estimación de la ecuación (5.2) la cual relaciona las fluctuaciones del ENOS en la brecha del producto, junto con las diferentes especificaciones se muestran en el cuadro (4). La brecha de producto de Estados Unidos resultó positiva y altamente significativa. Esto quiere decir que existe un importante grado de co-movimiento entre esta economía la nuestra. Un posible canal de transmisión es el efecto de esta brecha sobre la demanda de exportaciones. En cuanto al choque climático este mostró un efecto negativo y significativo, si bien el coeficiente es bastante pequeño, por lo cual es posible intuir que las condiciones climáticas tienen un efecto sobre la producción,

Cuadro 4: Efecto ENOS en la brecha de producto

| Variable | coef. | t-stad. | coef. | t-stad. | coef. | t-stad. | coef. | t-stad. |
|----------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| c | 0.000 | -0.2 | 0.001 | 1.0 | 0.001 | 1.1 | 0.000 | 0.3 |
| \hat{y}^* | 0.738 | 7.0 | 0.770 | 7.0 | 0.726 | 6.7 | 0.765 | 7.0 |
| ξ | -0.001 | -2.6 | | | | | | |
| $niño$ | | | -0.002 | -1.5 | | | | |
| $niño^2$ | | | | | -0.001 | -2.7 | | |
| $niño_d$ | | | | | | | -0.003 | -1.3 |
| $niña$ | | | -0.002 | -0.8 | | | | |
| $niña^2$ | | | | | -0.001 | -0.3 | | |
| $niña_d$ | | | | | | | 0.001 | 0.3 |
| $R^2_{Ajust.}$ | 0.13 | | 0.12 | | 0.13 | | 0.12 | |

Fuente: Elaboración propia.

pero este es menor que sobre la inflación. Además, cabe resaltar que el efecto no es simétrico, pues La Niña tiene un menor impacto sobre la brecha del producto que El Niño.

6. Conclusiones

La literatura que estudia el nexo entre los fenómenos climáticos y las variables macroeconómicas esta apenas comenzando. El aporte de este documento a la literatura es el desarrollo de un modelo teórico que permite relacionar los choques climáticos con la evolución de la economía de manera sencilla. A la vez, realiza estimaciones de los efectos de estos choques climáticos sobre la inflación y el producto de Costa Rica.

Los resultados obtenidos de las estimaciones para la inflación son coherentes con la teoría económica y resultados empíricos de otros estudios. La inflación de Estados Unidos posee un efecto positivo y significativo sobre la inflación local. Por su parte la variación del tipo de cambio nominal también posee un efecto positivo y significativo sobre la inflación, sin embargo el grado de traspaso es menor a la unidad, tal y como otros estudios del BCCR demuestran. Mientras que la brecha del producto tiene un efecto significativo pero con un rezago importante. Para el caso del choque climático el efecto es positivo y significativo. Para el caso de la brecha del producto, el choque climático resultó con un efecto negativo.

Los resultados obtenidos tienen implicaciones de política importantes. La primera de ellas es que la evolución de los fenómenos climáticos, ya sea el calentamiento global o fluctuaciones del ENOS se deberían considerar de manera explícita en las decisiones de política económica por parte de las autoridades.

Segundo, con el fin de reducir la vulnerabilidad a las fluctuaciones del ENOS, las autoridades deben comunicar de manera efectiva las proyecciones de la evolución del ENOS en el corto y mediano plazo. Esto tendrá efectos positivos vía una reducción en el nivel de incertidumbre, así mismo permitirá a los sectores más afectados tomar medidas mitigadoras con tiempo y de esta forma reducir los efectos sobre la producción.

Un mejor entendimiento del efecto del ENSO sobre la economía permite una mejor planificación de acciones de prevención y mitigación por parte de las autoridades gubernamentales. Estas acciones enfocadas a reducir la disrupción en la producción nacional y tanto para consumo interno como para las exportaciones.

La diversificación de la economía reduce el efecto negativo sobre la producción. La política de desarrollo económico en Costa Rica ha permitido una diversificación importante de la economía, lo cual ha hecho que el rol de la agricultura en la economía haya disminuido. No obstante, un fenómeno de El Niño fuerte y prolongado podría debilitar el crecimiento económico, afectar de manera negativa el balance externo de la economía y desencadenar una mayor inflación.

Una forma que en la que el gobierno puede reducir el impacto de El Niño sobre los precios es reduciendo las restricciones existente sobre las importaciones de productos alimenticios. Otra opción es facilitar el crédito o reducir la tasa de interés de los créditos a los sectores más afectados por El Niño. Adicionalmente, el gobierno puede contribuir mejorando la infraestructura de riego, lo cual sería útil para mitigar los efectos de las sequías.

Desde una perspectiva de banco central, los efectos sobre los precios del fenómeno de El Niño deben observarse como un choque climático de oferta, por lo cual una política monetaria restrictiva solo reduciría más la producción, mientras que una política monetaria expansiva incrementaría los precios sin necesariamente incrementar la producción. El aporte de un banco central para mitigar los efectos sería mantener una inflación baja y estable que permita a los agentes reaccionar ante cambios en precios relativos, y a la vez no permita que estos choques alimenten expectativas de inflación más alta en el mediano y largo plazo. Siendo el gobierno central el encargado de realizar políticas de inversión en infraestructura que permitan aminorar los efectos de estas fluctuaciones climáticas.

El tema de los fenómenos climáticos, el calentamiento global y sus efectos sobre la economía del país, deben seguir siendo explorados. El presente trabajo provee de un primer análisis, sin embargo, con forme nuevos datos y metodologías estén disponibles futuras investigaciones aportaran resultados útiles para los hacedores de política publica.

7. Bibliografía

- Adams, R., C. C. M. B. y. W. R. (1998). The economic consequences of ENSO events: The 1997-98 El Niño and the 1998-99 La Niña. (No. 24013).
- Brunner, A. D. (2002). El Niño and world primary commodity prices: Warm water or hot air?, 176–183.
- Cai, Borlace, L. v. R. C. V. T. S. M. W. E. W. G. y. J. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. 4, 111–116.
- Cashin, P., M. K. R. M. (2015). Fair weather or foul? the macroeconomic effects of El Niño. (WP/15/89).
- Cho, R. (2016). El Niño and global warming—what’s the connection?
- Funk, Dettinger, M. V. B. B. y. H. (2008). Warming of the Indian Ocean threatens eastern and southern African food security but could be mitigated by agricultural development. 105 (32), 11081–11086.
- Glantz, M. H. (2015). Shades of chaos: Lessons learned about forecasting El Niño and its impacts, 94–103.
- Hsiang, SM; y Meng, K. (2015). Tropical economics. (105(5)), 257 – 261.
- Obstfeld, M., y. R. K. (1996). *Foundations of international macroeconomics* (2nd ed. ed.). MIT Press.
- Oduber, M., y. J. R. (2016). Impacts of cyclic patterns of climate on fluctuations in tourism demand: Evidence from Aruba. 5: 3.
- Walsh, C. E. (2010). *Monetary theory and policy* (3rd ed. ed.). MIT Press.

8. Anexo

En el presente anexo se desarrolla de manera completa el álgebra del modelo desarrollado en la sección de modelo teórico.

8.1. Función de utilidad

Función de utilidad de elasticidad de sustitución constante (CES por sus siglas en inglés) y con aversión relativa al riesgo constante.

$$U(c_t) = \frac{c_t^{1-\rho}}{1-\rho} \quad (8.1)$$

Donde ρ es el parámetro que mide el grado de aversión relativa al riesgo implícito. Y c_t es una canasta compuesta por $c_{a,t}$ y $c_{n,t}$, bienes agrícolas y no agrícolas.

$$c_t = \left[\gamma^{\frac{1}{\theta}} c_{a,t}^{\frac{\theta-1}{\theta}} + (1-\gamma)^{\frac{1}{\theta}} c_{n,t}^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} \quad (8.2)$$

Donde θ es la elasticidad de la demanda al precio ($\theta > 1$). Y la restricción presupuestaria:

$$p_t c_t = p_{a,t} c_{a,t} + p_{n,t} c_{n,t} \quad (8.3)$$

Para encontrar las demandas de los bienes a y n , se construye el lagrangeano utilizando las ecuaciones (8.2) y (8.3)

$$\max_{c_{a,t}, c_{n,t}} L = \left[\gamma^{\frac{1}{\theta}} c_{a,t}^{\frac{\theta-1}{\theta}} + (1-\gamma)^{\frac{1}{\theta}} c_{n,t}^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} + \lambda [p_t c_t - p_{a,t} c_{a,t} - p_{n,t} c_{n,t}] \quad (8.4)$$

Derivando para $c_{a,t}$ y $c_{n,t}$ se obtienen las condiciones de primer orden (C.P.O.) para la maximización de la utilidad de las familias en el modelo.

$$\frac{\theta-1}{\theta} \frac{1}{\theta-1} \gamma^{\frac{1}{\theta}} \left[\gamma^{\frac{1}{\theta}} c_{a,t}^{\frac{\theta-1}{\theta}} + (1-\gamma)^{\frac{1}{\theta}} c_{n,t}^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{1}{\theta-1}} c_{a,t}^{\frac{-1}{\theta}} = \lambda p_{a,t} \quad (8.5)$$

Simplificando y sustituyendo $c_t^{\frac{1}{\theta}} = \left[\gamma^{\frac{1}{\theta}} c_{a,t}^{\frac{\theta-1}{\theta}} + (1-\gamma)^{\frac{1}{\theta}} c_{n,t}^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{1}{\theta-1}}$. Se obtiene que la condición de

primer orden es:

$$\gamma^{\frac{1}{\theta}} c_t^{\frac{1}{\theta}} c_{a,t}^{\frac{-1}{\theta}} \frac{1}{p_{a,t}} = \lambda \quad (8.6)$$

Siguiendo un proceso analogo se puede obtener la condición de primer orden para c_n :

$$(1 - \gamma)^{\frac{1}{\theta}} c_t^{\frac{1}{\theta}} c_{n,t}^{\frac{-1}{\theta}} \frac{1}{p_{n,t}} = \lambda \quad (8.7)$$

Uniendo las las dos condiciones de primer orden (8.6) y (8.7) se obtiene:

$$\gamma^{\frac{1}{\theta}} c_t^{\frac{1}{\theta}} c_{a,t}^{\frac{-1}{\theta}} \frac{1}{p_{a,t}} = (1 - \gamma)^{\frac{1}{\theta}} c_t^{\frac{1}{\theta}} c_{n,t}^{\frac{-1}{\theta}} \frac{1}{p_{n,t}} \quad (8.8)$$

Simplificando la ecuación (8.8) y despejando para $c_{n,t}$:

$$c_{n,t} = \left(\frac{1 - \gamma}{\gamma} \right) c_{a,t} \left(\frac{p_{n,t}}{p_{a,t}} \right)^{-\theta} \quad (8.9)$$

Sustituyendo la ecuación (8.9) en la restricción presupuestaria (ecuación (8.3)):

$$p_t c_t = p_{a,t} c_{a,t} + p_{n,t} \left(\frac{1 - \gamma}{\gamma} \right) c_{a,t} \left(\frac{p_{n,t}}{p_{a,t}} \right)^{-\theta} \quad (8.10)$$

Se puede reescribir como:

$$p_t c_t = \left(\frac{\gamma p_{a,t}^{1-\theta} + (1 - \gamma) p_{n,t}^{1-\theta}}{\gamma p_{a,t}^{-\theta}} \right) c_{a,t} \quad (8.11)$$

Donde el Índice de Precios basado en las preferencias del consumidor es:

$$p_t = (\gamma p_{a,t}^{1-\theta} + (1 - \gamma) p_{n,t}^{1-\theta})^{\frac{1}{1-\theta}} \quad (8.12)$$

Por lo tanto la expresión: $\gamma p_{a,t}^{1-\theta} + (1 - \gamma) p_{n,t}^{1-\theta}$ de la ecuación (8.11) es igual a $p_t^{1-\theta}$. Sustituyendo

en la ecuación (8.11), se obtiene:

$$p_t c_t = \left(\frac{p_t^{1-\theta}}{p_{a,t}} \right) \frac{c_{a,t}}{\gamma} \quad (8.13)$$

Despejando para $c_{a,t}$ se obtiene la demanda por el bien agrícola:

$$c_{a,t} = \gamma \left(\frac{p_{a,t}}{p_t} \right)^{-\theta} c_t \quad (8.14)$$

De manera análoga se define la ecuación para la demanda de los bienes no agrícolas:

$$c_{n,t} = (1 - \gamma) \left(\frac{p_{n,t}}{p_t} \right)^{-\theta} c_t \quad (8.15)$$

8.2. Índice de precios basado en el consumidor

Para derivar el índice de precios al consumidor, se utiliza la ecuación (8.2). Se utiliza el supuesto normalizador de $c_t = 1$ y se insertan las demandas de los bienes (ecuaciones (8.14) y (8.15)), obteniendo:

$$1 = \left[\gamma^{\frac{1}{\theta}} \left(\gamma \left(\frac{p_{a,t}}{p_t} \right)^{-\theta} \right)^{\frac{\theta-1}{\theta}} + (1 - \gamma)^{\frac{1}{\theta}} \left((1 - \gamma) \left(\frac{p_{n,t}}{p_t} \right)^{-\theta} \right)^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} \quad (8.16)$$

Simplificando se obtiene que:

$$1 = \gamma \left(\frac{p_{a,t}}{p_t} \right)^{1-\theta} + (1 - \gamma) \left(\frac{p_{n,t}}{p_t} \right)^{1-\theta} \quad (8.17)$$

Despejando para p_t se obtiene el índice de precios:

$$p_t = \left[\gamma (p_{a,t})^{1-\theta} + (1 - \gamma) (p_{n,t})^{1-\theta} \right]^{\frac{1}{1-\theta}} \quad (8.18)$$

8.3. Empresas

La economía tiene dos sectores productivos, un sector agrícola y otro no agrícola. Las empresas producen bienes agrícolas y no agrícolas en un mercado de competencia monopolística en cada sector.

Existen dos tipos de insumos: la mano de obra ($l_{i,t}$) y el capital ($k_{i,t}$). Ambos insumos no son especializados por sector, por lo cual existe un único mercado para cada uno de ellos.

La función de producción para las empresas no agrícolas es tipo Cobb-Douglas ecuación (4.6), donde el parámetro α_n ¹⁸ indica la intensidad de uso de la mano de obra en este sector.

$$y_{n,t} = A_{n,t} k_{n,t}^{1-\alpha_n} l_{n,t}^{\alpha_n} \quad (8.19)$$

Por otra parte la función de producción de los empresarios agrícolas se diferencia por cuanto su producción depende de las condiciones climatológicas (η), y tiene la siguiente forma funcional:

$$y_{a,t} = A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a} e^{\xi_t} \quad (8.20)$$

El último término de la ecuación (8.20) captura el efecto de las variaciones climáticas originadas por el fenómeno del ENSO, donde $\xi_t = -\phi(\eta_t^2 - \epsilon)$. Donde η_t es un índice de condiciones climáticas ω , normalizado para que su valor esperado sea igual a cero:

$$E_t[\eta_t] = 0 \implies \sum_{t=0}^N \left\{ \omega_t - \frac{1}{n} \sum_{t=0}^N (\omega_t) \right\} \quad (8.21)$$

La construcción de η hace que tenga una distribución en forma de campana (ver Figura (4)). Y se puede considerar que los valores típicos de esta distribución se encuentran en valores cercanos a cero.

Al elevar esta el índice de condiciones climáticas η al cuadrado se están realizando dos supuestos importantes: (i) supuesto de simetría en los efectos negativos sobre la producción de valores extremos negativos o positivos de η ¹⁹. (ii) Los efectos negativos sobre la producción agrícola no cuadráticos, no lineales. Por lo tanto la reducción en la producción debido a desviaciones

¹⁸ $\alpha_{i,t} \in [0, 1]$

¹⁹A manera de ejemplo esto quiere decir que excesos de lluvia son igualmente de dañinos para la producción agrícola que falta de lluvia.

climáticas extremas será mayor que desviaciones pequeñas.

Al elevar al cuadrado η_t su valor esperado ya no es cero, si no un valor positivo²⁰, este valor positivo lo definimos ϵ .

$$E_t[\eta_t^2] = \epsilon \quad (8.22)$$

De esta forma el valor esperado de ξ_t es igual a cero.

$$E_t[\xi_t^2] = E_t[-\phi(\eta_t^2 - \epsilon)] = 0 \quad (8.23)$$

Con lo cual el valor esperado de la producción del sector agrícola no depende de las condiciones climáticas.

$$E_t[y_{a,t}] = E_t[A_{a,t}k_{a,t}^{1-\alpha_a}l_{a,t}^{\alpha_a}e^{\xi_t}] = A_{a,t}k_{a,t}^{1-\alpha_a}l_{a,t}^{\alpha_a} \quad (8.24)$$

Esto debido a que $E[e^{\xi_t}] = 1$. Otro supuesto para facilitar el analisis es que todas las empresas del sector agrícola se ven afectadas de manera identica ante las fluctuaciones climaticas.

8.3.1. Demanda factores

La decisión que deben tomar las empresas en el sector agrícola es la cantidad de insumos a demandar dada las funciones de costos y producción. Para ello minimizan los costos mediante la ecuación (4.8).

$$\min_{(l,k)} [r_t k_{a,t} + \frac{w_t}{p_t} l_{a,t}] + \varphi_{i,t} (y_{a,t} - A_{a,t}k_{a,t}^{1-\alpha_a}l_{a,t}^{\alpha_a}e^{-\phi(\eta_t^2-\epsilon)}) \quad (8.25)$$

Las condiciones de primer orden de la ecuación (4.8) para la minimización de los costos para cada uno de los insumos se presentan en las ecuaciones (4.9) y (4.10).

$$\frac{w_t}{p_t} - \varphi_{a,t} (\alpha_a A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a-1} e^{-\phi(\eta_t^2-\epsilon)}) = 0 \quad (8.26)$$

²⁰En el caso que η_t tuviera una distribución normal, el valor esperado de η_t^2 sería igual a uno.

$$r_t - \varphi_{a,t}(\alpha_a A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a-1} e^{-\phi(\eta_t^2-\epsilon)}) = 0 \quad (8.27)$$

Combinando las ecuaciones (8.26) y (8.27), y despejando para k_t se obtiene:

$$k_{a,t} = \left(\frac{\alpha_a}{1 - \alpha_a} \right) \left(\frac{w_t}{r_t} \right) l_{a,t} \quad (8.28)$$

Insertando la ecuación (8.27) dentro de la restricción presupuestaria se obtiene la demanda por factores del sector agrícola.

$$l_{a,t} = \alpha_a \left(\frac{w_t}{p_t} \right)^{-1} y_{a,t} \quad (8.29)$$

$$k_{a,t} = (1 - \alpha_a)(r_t)^{-1} y_{a,t} \quad (8.30)$$

De manera análoga se obtiene las demandas por los insumos del sector no agrícola:

$$l_{n,t} = \alpha_n \left(\frac{w_t}{p_t} \right)^{-1} y_{n,t} \quad (8.31)$$

$$k_{n,t} = (1 - \alpha_n)(r_t)^{-1} y_{n,t} \quad (8.32)$$

Combinando las ecuaciones (8.27) y (8.28) y despejando para $l_{a,t}$ se puede obtener φ es igual a los costos marginales reales de la firma en términos de $l_{a,t}$, como se muestra en la ecuación (4.11).

$$\varphi_{a,t} = \frac{1 - \alpha_a}{\alpha_a} \frac{w_t}{p_t} \frac{l_{a,t}}{\alpha_a y_{a,t}} \quad (8.33)$$

8.4. Precios

La decisión de precios por parte de las empresas del sector agrícola esta determinado por la función de beneficios ($\Pi_{a,t}$) dada por la ecuación (8.33):

$$\Pi_{a,t} = p_{a,t}c_{a,t} - \varphi_{a,t}c_{a,t} \quad (8.34)$$

sustituyendo $c_{a,t}$ por la ecuación (8.14), se obtiene:

$$\Pi_{a,t} = \gamma \left(\frac{p_{a,t}}{p_t} \right)^{1-\theta} c_t - \varphi_{a,t} \gamma \left(\frac{p_{a,t}}{p_t} \right)^{1-\theta} c_t \quad (8.35)$$

Se maximiza la ecuación (8.35) con respecto a $p_{a,t}$:

$$\frac{p_{a,t}}{p_t} = \frac{\theta}{1-\theta} \varphi_{a,t} \quad (8.36)$$

$$p_{a,t} = \frac{\theta}{1-\theta} \frac{1-\alpha_a}{\alpha_a} w_t (\alpha_a A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a-1} e^{-\phi(\eta_t^2 - \epsilon)})^{-1} \quad (8.37)$$

$$\hat{p}_{a,t} = \hat{w}_t - \hat{A}_{a,t} - (1-\alpha_a)\hat{\kappa}_{a,t} + \phi(\eta_t^2 - \epsilon) \quad (8.38)$$

$$\hat{p}_t = \gamma \hat{p}_{a,t} + (1-\gamma)\hat{p}_{n,t} \quad (8.39)$$

$$\hat{p}_t = \gamma[\hat{w}_t - \hat{A}_{a,t} - (1-\alpha_a)\hat{\kappa}_{a,t} + \phi(\eta_t^2 - \epsilon)] + (1-\gamma)[\hat{w}_t - \hat{A}_{n,t} - (1-\alpha_n)\hat{\kappa}_{n,t}] \quad (8.40)$$

$$\hat{p}_t = \hat{w}_t - \hat{A}_t + \gamma\phi(\eta_t^2 - \epsilon) \quad (8.41)$$

8.5. Producción

$$c_{n,t} = \frac{\gamma}{1-\gamma} \left(\frac{p_{n,t}}{p_{a,t}} \right)^{-\theta} c_{a,t} \quad (8.42)$$

$$y_t = \left[1 + \frac{\gamma}{1-\gamma} \left(\frac{p_{n,t}}{p_{a,t}} \right)^{-\theta} \right] y_{a,t} = A_{a,t} k_{a,t}^{1-\alpha_a} l_{a,t}^{\alpha_a} e^{-\phi(\eta_t^2 - \epsilon)} \quad (8.43)$$

$$\hat{y}_t = \theta(\hat{p}_{a,t} - \hat{p}_{n,t}) + \hat{A}_t - \phi(\eta_t^2 - \epsilon) \quad (8.44)$$

$$\hat{y}_t = \theta(\phi(\eta_t^2 - \epsilon) - \gamma\phi(\eta_t^2 - \epsilon)) - \phi(\eta_t^2 - \epsilon) \quad (8.45)$$

Simplificando tenemos que:

$$\hat{y}_t = ((1-\gamma)\theta - 1)\phi(\eta_t^2 - \epsilon) \quad (8.46)$$

$$\theta \leq \frac{1}{(1-\gamma)} \quad (8.47)$$