



AVANCES EN ECONOMÍA INTERNACIONAL, FINANZAS Y DESARROLLO

Víctor Hugo Gualajara Estrada
Antonio Ruiz Porras
Coordinadores

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Avances en Economía Internacional, Finanzas y Desarrollo

COORDINADORES

Víctor Hugo Gualajara Estrada

Antonio Ruíz Porras

AUTORES

Moisés Alejandro Alarcón Osuna (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Dulce Albarrán Macías (Universidad Autónoma del Estado de México)

Abraham Alva Vázquez (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Javier Emmanuel Anguiano Pita (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Juan Ignacio Campa Navarro (Universidad Autónoma de Barcelona)

Azael Carrillo Cabrera (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Enrique Ramón Casares Gil (Universidad Autónoma Metropolitana, UAM-A)

Víctor Manuel Castillo Girón (Universidad de Guadalajara-CUVALLES)

David Salvador Cisneros Zepeda (Universidad Autónoma de Sinaloa)

Juan José Esparza López (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Daniel González Olivares (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Víctor Hugo Gualajara Estrada (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Clemente Hernández Rodríguez (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Manuel Machuca Martínez (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Jorge Luis Moranchel Bustos (Universidad del Valle de México)

Iván Porras Chaparro (Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca)

Mauricio Ramírez Grajeda (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Lucía Atzimba Ruiz Galindo (Universidad Autónoma Metropolitana, UAM-A)

Antonio Ruiz Porras (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Edgar Abraham Ruiz Sánchez (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Salvador Sandoval Bravo (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Guillermo Sierra Juárez (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Nicolás Suarez Romero (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Laura Selene Vielmas García (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Guillermo Sierra Juárez (Universidad de Guadalajara, CUCEA)

Avances en Economía Internacional, Finanzas y Desarrollo

VÍCTOR HUGO GUALAJARA ESTRADA
ANTONIO RUÍZ PORRAS
COORDINADORES

Departamento de Métodos Cuantitativos
Doctorado en Estudios Económicos
Centro de Investigación de Teoría Económica
Cuerpo Académico UDG-CA-826
“Temas de Economía Internacional, Finanzas y Desarrollo”

El material publicado fue dictaminado por investigadores con amplio reconocimiento científico bajo el sistema de doble ciego emitido por académicos (internos o externos) a esta institución, especialistas en la materia.

Este libro fue financiado con recursos del Subsidio Federal 2021 del Departamento de Métodos Cuantitativos para el proyecto 256052 Gestión y Gobierno del Departamento de Métodos Cuantitativos, y recursos asignados para el Doctorado en Estudios Económicos (DEEC) que fueron recibidos a través del Programa de Incorporación y Permanencia del Posgrado en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PROINPEP, Dictamen II/2020/537).

El PROINPEP tiene como objetivo fomentar la mejora continua y el aseguramiento de la calidad y pertinencia de los programas de posgrado de la Universidad de Guadalajara para garantizar su permanencia y promoción en el Padrón del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Primera edición, 2021

D.R. © 2021, UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas

Periférico Norte # 799

Núcleo Universitario Los Belenes

C. P. 45100, Zapopan, Jalisco, México

ISBN: 978-607-571-233-8

E-ISBN: 978-607-571-234-5

Impreso y hecho en México

Printed and made in Mexico

CONTENIDO

Introducción	9
Víctor Hugo Gualajara Estrada y Antonio Ruiz Porras	

ECONOMÍA INTERNACIONAL Y DESARROLLO

17

Capítulo 1. Identificación de clústeres de nueva inversión extranjera directa (Greenfields) en México	19
Moisés Alejandro Alarcón Osuna y David Salvador Cisneros Zepeda	

Capítulo 2. Inversión extranjera directa y política de patentes en México entre 1950 y 1970	41
Juan Ignacio Campa Navarro	

Capítulo 3. Fluctuaciones cíclicas de México y sus principales socios comerciales	63
Dulce Albarrán Macías y Jorge Luis Moranchel Bustos	

Capítulo 4. Exportación de materias primas, términos de intercambio y desarrollo económico	85
Enrique Ramón Casares Gil, Iván Porras Chaparro y Lucía Atzimba Ruiz Galindo	

Capítulo 5. Energía renovable y geografía en los países de la ocde: impacto sobre el crecimiento económico (2000-2018)	115
Juan José Esparza López y Clemente Hernández Rodríguez	

Capítulo 6. Desarrollo financiero, apertura comercial y crecimiento económico en América del Norte	155
Antonio Ruiz Porras y Javier Emmanuel Anguiano Pita	

Capítulo 7. Impacto de la expansión de empresas minoristas multinacionales: el caso de Wal-Mart en áreas urbanas	181
Manuel Machuca Martínez y Víctor Manuel Castillo Girón	

ECONOMÍA Y FINANZAS

215

Capítulo 8. <i>Pairs trading</i> basada en cointegración de activos para el mercado de capitales mexicano	217
Daniel González Olivares y Azael Carrillo Cabrera	

Capítulo 9. Modelación de burbujas financieras en el mercado de Bitcoin: una aplicación del modelo de difusión con saltos para 2017 y 2018	243
Edgar Abraham Ruiz Sánchez y Guillermo Sierra Juárez	

Capítulo 10. Procesos estocásticos, ecuaciones diferenciales parciales y el modelo de Black-Scholes en el mundo financiero	265
Laura Selene Vielmas García, Víctor Hugo Gualajara Estrada y Salvador Sandoval Bravo	

Capítulo 11. El mercado de derivados climáticos: aplicación en la agricultura de México	291
Abraham Alva Vázquez y Guillermo Sierra Juárez	

Capítulo 12. Los mercados bursátiles de Latinoamérica y Estados Unidos: un análisis garch multivariado	317
Antonio Ruiz Porras, Guillermo Sierra Juárez y Guadalupe Noemí Villaseñor Álvarez	

Capítulo 13. Impacto de la política monetaria en un modelo à la Smets y Wouters, 2003	339
Nicolás Suárez Romero, Mauricio Ramírez Grajeda y Daniel González Olivares	

INTRODUCCIÓN

VÍCTOR HUGO GUALAJARA ESTRADA
ANTONIO RUIZ PORRAS

La economía internacional, las finanzas y el desarrollo económico han sido disciplinas académicas con escasas relaciones entre sí. Sin embargo, tras la crisis global de 2008 y la pandemia de la COVID-19 en 2020, se ha renovado el interés por estudiar dichas disciplinas y sus relaciones. Particularmente, en este libro, *Avances de Economía Internacional, Finanzas y Desarrollo*, se incluyen trece estudios relativos al estado del arte de dichas disciplinas y sus relaciones en donde participan académicos internos y externos y estudiantes y egresados de los programas de posgrado de la Universidad de Guadalajara. El común denominador de dichos estudios es que sus temáticas se enmarcan dentro de las líneas de investigación del Cuerpo Académico UDG-CA-826, “Temas de Economía Internacional, Finanzas y Desarrollo”.

La estructura del libro se organiza en dos partes. La primera parte, “Economía Internacional y Desarrollo”, incluye siete capítulos independientes entre sí que abordan las relaciones entre ambas disciplinas. Particularmente, los temas estudiados en dichos capítulos son los siguientes: 1. La identificación de clústeres de nueva inversión extranjera directa; 2. la inversión extranjera directa y política de patentes; 3. las fluctuaciones cíclicas de México y sus principales socios comerciales; 4. la exportación de materias primas, los términos de intercambio y el desarrollo económico; 5. la energía renovable, la geografía y sus impactos sobre el crecimiento económico; 6. el desarrollo financiero, la apertura comercial

y el crecimiento económico en América del Norte; y 7. el impacto de la expansión de empresas minoristas multinacionales en las áreas urbanas.

En el primer capítulo del libro, “Identificación de clústeres de nueva inversión extranjera directa (Greenfields) en México”, Moisés Alejandro Alarcón Osuna y David Salvador Cisneros Zepeda analizan los clústeres de atracción de la nueva inversión extranjera directa (NIED). Ellos desarrollan su estudio utilizando un análisis de clústeres jerárquico y descripciones de las características de la NIED y de la evolución económica del PIB en las regiones donde se asientan los mencionados clústeres. Sus hallazgos muestran que en trece estados de un total de treinta y dos se halla el 77 % del total de nueva IED. En los diecinueve estados restantes se halla el 23 % de la NIED. Así, sus resultados sugieren que la generación de nuevas capacidades productivas provenientes de otros países no está distribuida de manera homogénea en el país.

En el segundo capítulo, “Inversión extranjera directa y política de patentes en México entre 1950 y 1970”, Juan Ignacio Campa Navarro explora las relaciones entre la inversión extranjera directa (IED) y las patentes propiedad de extranjeros durante la etapa de proteccionismo económico. Sus hallazgos sugieren que hubo una relación positiva entre la IED y las patentes registradas en el país durante el periodo estudiado. Asimismo, sus hallazgos sugieren que la política de patentes favoreció o al menos no limitó la entrada de flujos de IED. Estos hallazgos inducen al autor a proponer una revisión de la política mexicana sobre los derechos de propiedad de las patentes para incentivar la atracción de capitales del exterior y para fortalecer las capacidades tecnológicas locales mediante activos tecnológicos digitales tales como las patentes.

En el tercer capítulo, “Fluctuaciones cíclicas de México y sus principales socios comerciales”, Dulce Albarrán Macías y Jorge Luis Moranchel Bustos analizan la sincronización de los ciclos económicos de México con Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Japón. Su análisis se basa en el estudio de los ciclos económicos antes y después de la adopción de los acuerdos comerciales firmados entre las mencionadas economías. Para ello, utilizan la metodología de los ciclos de crecimiento propuesta por Kydland y Prescott y el filtro Hodrick y Prescott usando muestras de datos para el periodo 1980-2020. Sus hallazgos aportan evidencia de que

los acuerdos comerciales han promovido la sincronización de los ciclos económicos de México y sus socios comerciales. Los autores atribuyen dicho resultado al incremento del comercio entre los países analizados.

En el cuarto capítulo, “Exportación de materias primas, términos de intercambio y desarrollo económico”, Enrique Ramón Casares Gil, Iván Porras Chaparro y Lucía Atzimba Ruiz Galindo estudian la relación entre los términos de intercambio y el crecimiento económico con un modelo de crecimiento endógeno con tres sectores (materias primas, manufactura y no-comerciables). Sus hallazgos muestran que, cuando los términos de intercambio aumentan, la proporción de trabajo empleado en el sector de materias primas aumenta y en el sector manufacturero se mantiene constante. Más aun, también muestran que la tasa de crecimiento de la economía aumenta. Además, los autores hallan que, en Brasil y Perú, los términos de intercambio y el crecimiento económico están cointegrados. Sin embargo, también hallan que no hay evidencia de la existencia de dicha cointegración para México.

En el quinto capítulo, “Energía renovable y geografía en los países de la OCDE: Impacto sobre el crecimiento económico (2000-2018)”, Juan José Esparza López y Clemente Hernández Rodríguez analizan el impacto de las variables geográficas (horas de sol promedio y acceso al océano) y la variedad de fuentes de energía eléctrica sobre el crecimiento económico en los países de la OCDE durante el periodo de 2000 a 2018. Su análisis se sustenta en un modelo autorregresivo para paneles de datos con rezagos distribuidos heterogéneos. Sus principales hallazgos muestran que los países que experimentan más horas de sol tienen un mayor crecimiento económico. Lo mismo ocurre con los países que tienen acceso al mar. Además, sus hallazgos muestran que los países que tienen una mayor variedad de fuentes de energía tienen un mayor crecimiento económico.

En el sexto capítulo, “Desarrollo financiero, apertura comercial y crecimiento económico en América del Norte”, Antonio Ruiz Porras y Javier Emmanuel Anguiano Pita estudian la cointegración, las elasticidades y la causalidad entre la apertura comercial, el desarrollo financiero y el crecimiento económico en Canadá, Estados Unidos y México utilizando datos en panel de 1990 a 2017. Particularmente, los autores estiman las elasticidades de largo plazo usando Mínimos Cuadrados Totalmente

Modificados (FMOLS) y Mínimos Cuadrados Ordinarios Dinámicos (DOLS). Asimismo, usan pruebas Dumitrescu-Hurlin para examinar la causalidad entre las variables que integran los paneles. Sus hallazgos sugieren la existencia de relaciones de largo plazo entre las variables y que existe un efecto causal positivo del desarrollo financiero y la apertura comercial al crecimiento económico.

En el séptimo capítulo, “Impacto de la expansión de empresas minoristas multinacionales: El caso de Wal-Mart en las áreas urbanas de México”, Manuel Machuca Martínez y Víctor Manuel Castillo Girón estudian si la presencia y expansión del comercio moderno en México, representado por Wal-Mart, indujo cambios en las elasticidades y en la escala total de producción de alimentos. Los autores estiman un modelo econométrico utilizando una función de producción de tipo Cobb-Douglas, un planteamiento de diferencias en diferencias y datos de los censos económicos. Sus principales hallazgos muestran que Wal-Mart indujo cambios diferenciados y significativos en las elasticidades y en la producción a escala municipal. Asimismo, sus hallazgos validan la hipótesis de que la presencia y expansión del comercio moderno induce cambios en las economías locales.

La segunda parte del libro, “Economía y Finanzas”, incluye seis capítulos independientes entre sí que abordan la modelación teórica y empírica en ambas disciplinas. Al igual que en la sección anterior, aquí se incluyen investigaciones que están orientadas hacia México. Particularmente, los temas estudiados en esta sección son los siguientes: 1. El sistema de *pairs trading* basado en la cointegración de activos para el mercado de capitales mexicano; 2. la modelación de burbujas financieras en el mercado de bitcoin; 3. las relaciones entre los procesos estocásticos, las ecuaciones diferenciales parciales y el modelo Black-Scholes; 4. el mercado de derivados climáticos en la agricultura mexicana; 5. los mercados bursátiles de Latinoamérica y Estados Unidos; y, 6. la modelación de la política monetaria.

En el octavo capítulo, “*Pairs trading* basada en cointegración de activos para el mercado de capitales mexicano”, Daniel González Olivares y Azael Carrillo Cabrera proponen una metodología para analizar las relaciones de los precios de los activos más líquidos de la Bolsa Mexicana de Valores

con el Índice de Precios y Cotizaciones (IPC). Su análisis lo utilizan para hallar los mejores pares de activos y determinar los mejores momentos de compra/venta y de cierre de las operaciones. Su metodología permite considerar diferentes alternativas de ajustes al riesgo y al mercado en el *pairs trading*. Sus principales hallazgos muestran que su metodología arroja un rendimiento total acumulado positivo del 20.67 %, con una tasa positiva de respuesta del 73 % de los pares analizados. Estos resultados los obtienen usando una muestra de datos diarios para el periodo del 01-01-2016 al 01-11-2019.

En el noveno capítulo, “Modelación de burbujas financieras en el mercado de Bitcoin: una aplicación del modelo de difusión con saltos para 2017 y 2018”, Edgar Abraham Ruiz Sánchez y Guillermo Sierra Juárez simulan la dinámica de los precios del Bitcoin con base en dos supuestos. El primero es que la hipótesis de eficiencia informacional de los mercados no se cumple. El segundo es que la dinámica de los precios se explica en términos de que el mercado del Bitcoin es emergente, carente de regulación, competitivo, extremadamente sensible a las noticias, y vulnerable ante los especuladores y ciberataques. Los autores modelan los precios usando un proceso de difusión con saltos de Poisson. Sus hallazgos muestran que el modelo describe adecuadamente los precios y los rendimientos diarios del Bitcoin. Más aun, sugieren que variaciones del modelo podrían usarse con fines predictivos.

En el décimo capítulo, “Procesos estocásticos, ecuaciones diferenciales parciales y modelos Black-Scholes en el mundo financiero”, Laura Selene Vielmas García, Víctor Hugo Gualajara Estrada y Salvador Sandoval Bravo plantean las propiedades del modelo de Black-Scholes para valuar opciones europeas. Más aun, proponen el uso de la fórmula de Feynman-Kac para estimar los precios de las opciones. Particularmente, los autores utilizan un sistema estocástico de ecuaciones diferenciales parciales y los factores de volatilidad de los precios para reconocer las dinámicas de los precios del modelo Black-Scholes. Los autores comparan las estimaciones del modelo usando técnicas tradicionales y la fórmula de Feynman-Kac. Más aun, determinan el valor de las cinco griegas que definen el comportamiento de las opciones europeas.

En el onceavo capítulo, “El mercado de derivados climáticos: Aplicación en la agricultura de México”, Abraham Alva Vázquez y Guillermo Sierra Juárez proponen un modelo para calcular el precio de contratos futuros climáticos. Los mencionados futuros son importantes porque podrían proporcionar cobertura contra pérdidas en la producción agrícola asociadas a fenómenos naturales como El Niño. Los autores, también, proponen un proceso estocástico de movimiento browniano fraccional para describir la evolución de la temperatura del mar (la variable subyacente del modelo). Además, los autores usan su modelo para estimar los precios de los mencionados futuros usando el método de simulación Monte Carlo. Más aun, los autores muestran las especificaciones que pueden tener algunos contratos de futuros climáticos.

En el duodécimo capítulo, “Los mercados bursátiles de Latinoamérica y Estados Unidos: Un análisis GARCH multivariado”, Antonio Ruiz Porras, Guillermo Sierra Juárez y Guadalupe Noemí Villaseñor Álvarez analizan las relaciones de largo y corto plazo de los principales índices bursátiles de Argentina, Colombia, Chile y México con los índices Dow Jones, Nasdaq100, Nasdaq Composite y SP500. El análisis se realiza mediante las pruebas de raíces unitarias y de cambio estructural múltiple. Los principales hallazgos muestran que no hay integración a largo plazo entre los índices bursátiles debido a la existencia de, al menos, dos cambios estructurales en el periodo 2007-2018. Asimismo, los hallazgos muestran que los rendimientos bursátiles pueden modelarse mediante modelos de la familia ARCH/GARCH bajo la suposición de que existen efectos apalancamiento en las volatilidades de las series.

En el último capítulo, “Impacto de la política monetaria en un modelo à la Smets y Wouters”, Nicolás Suarez Romero, Mauricio Ramírez Grajeda y Daniel González Olivares hacen un ejercicio teórico para evaluar los efectos de choques en la política monetaria sobre el desempeño económico. Los autores realizan dicho ejercicio planteando un modelo teórico en donde introducen una regla de Taylor al modelo de equilibrio general estocástico y dinámico Smets-Wouters. Asimismo, introducen datos de la economía mexicana para simular los impactos de la política monetaria sobre los precios y salarios. Particularmente, los autores usan tres escenarios distintos para modelar los mencionados efectos sobre la economía.

En este contexto, vale la pena mencionar que el modelo no busca reflejar la realidad mexicana, ya que el modelo planteado supone una economía cerrada. Más bien lo que se busca es entender los efectos de la regla de Taylor sobre las economías.

Académicamente, debe señalarse que las principales contribuciones de este libro son analíticas, metodológicas e institucionales. Las contribuciones analíticas refieren a la creación y uso de modelos teóricos para sustentar los estudios sobre las relaciones entre la economía internacional, las finanzas y el desarrollo. Las contribuciones metodológicas refieren al empleo de técnicas estadísticas contemporáneas para manejar datos en panel y series de tiempo. Las contribuciones institucionales refieren a la creación de un espacio de difusión de los estudios realizados por los académicos, los estudiantes y los egresados de los programas de posgrado. Por estas razones, cabría esperar que los estudios incluidos en este libro sean de interés para los académicos, los estudiantes, los egresados universitarios y el público interesado en la economía y las finanzas.

Finalmente, debe mencionarse que este libro no hubiera sido posible sin el trabajo colaborativo del Departamento de Métodos Cuantitativos (DMC), de la Coordinación del Doctorado en Estudios Económicos (DEEC), del Cuerpo Académico UDG-CA-826 “Temas de Economía Internacional, Finanzas y Desarrollo”, y del Centro de Investigación de Teoría Económica (CITEC) de la Universidad de Guadalajara. Particularmente, se agradece el apoyo prestado del Dr. Guillermo Sierra Juárez, jefe del Departamento de Métodos Cuantitativos, y de la Lic. Carolina Saavedra Ramírez, asistente de la Coordinación del Doctorado en Estudios Económicos. También se agradece el apoyo de los investigadores del DEEC, del DMC, del CITEC, del Cuerpo Académico UDG-CA-826 y de los investigadores externos a la Universidad de Guadalajara. Sin duda, sus contribuciones permitieron definir, mejorar y concretar el presente libro.

ECONOMÍA INTERNACIONAL Y DESARROLLO

CAPÍTULO 1

IDENTIFICACIÓN DE CLÚSTERES DE NUEVA INVERSIÓN EXTRANJERA DIRECTA (GREENFIELDS) EN MÉXICO

MOISÉS ALEJANDRO ALARCÓN OSUNA
DAVID SALVADOR CISNEROS ZEPEDA

Introducción

Existen diferentes tipos de inversión, dependiendo del origen de la inversión se podría diferenciar entre inversión pública y privada. En este sentido, la inversión pública es la que se realiza con recursos de gobiernos municipales, estatales y federales, en tanto que la inversión privada es la que realizan los particulares, ya sean nacionales o internacionales. Siguiendo con estas definiciones, la inversión internacional se define como inversión extranjera, que puede ser directa o indirecta, dependiendo de si la inversión se realiza en bienes de capital (directa) o si solo se realiza inversión de cartera (indirecta). En el presente estudio, nos enfocaremos solo en la inversión extranjera directa.

La forma en cómo se registra la inversión extranjera directa (IED) en México, es en tres cuentas principales, la primera que trata sobre reinversión de empresas extranjeras en México, la segunda que trata sobre cuentas entre empresas extranjeras en México, y la tercera que alude a las nuevas inversiones extranjeras en México. Por lo general, los estudios en México no se desagregan por rubro de IED, sino que solamente hacen referencia a la IED como un todo.

Por otro lado, en México se tienen escasos precedentes sobre el estudio de la nueva IED (NIED) (Saucedo, 2020), que también en ocasiones

es llamada *greenfield*, ya que alude a los campos fértiles para el establecimiento de NIED, ya que se establecen nuevos activos de capital, y con ello se generan nuevas capacidades productivas (Cantón y Solera, 2016), pero también mayor competencia y derramas tecnológicas (Antonietti, Bronzini y Cainelli, 2015).

Por estas razones, el estudio de la NIED o *greenfields* es necesario para el caso de México, por un lado, porque no hay un estudio que dé cuenta de los patrones de aglomeración de NIED en México, y por otro lado, porque no hay una descripción de las principales características de entidades federativas que logran atraer NIED.

Por lo anterior, el objetivo general de este estudio es el de realizar un análisis de clústeres jerárquico que dé cuenta de las principales agrupaciones de entidades federativas que atraen NIED, y como objetivo secundario, se pretende hacer una descriptiva de los principales aspectos económicos que caracterizan a estos clústeres.

El estudio está estructurado de la siguiente manera: además de esta introducción, se presenta un apartado de revisión de literatura sobre los *greenfields* y sus características. El tercer apartado trata sobre la metodología empleada en el estudio, específicamente sobre análisis de clústeres jerárquicos para series temporales, así como también se abordan las fuentes de datos utilizadas para caracterizar los clústeres. En el cuarto apartado se presentan los resultados del estudio, por un lado con los ocho clústeres encontrados, y por otro lado, con la descriptiva de los distintos clústeres. Finalmente se muestra un apartado de conclusiones, donde se establece que existen al menos ocho clústeres de *greenfields* con características distintas entre ellos.

Revisión de la literatura

Por lo general, los estudios sobre la IED se enfocan en responder a las preguntas: ¿Qué factores determinan las decisiones de IED?, y ¿qué efectos tiene la IED sobre el desarrollo económico? (Saucedo, 2020). En este sentido, el presente trabajo aborda la primera pregunta, pero sobre la

base de saber: ¿Qué características tienen los clústeres de atracción de NIED en México?

En un estudio realizado en 2013,¹ se argumenta que los impactos de la liberalización de los regímenes que regulan la IED en América Latina no han estimulado el crecimiento económico. Estas liberalizaciones, dice el estudio, terminaron en propiciar el establecimiento de empresas extranjeras en México, para consolidar una plataforma de exportación hacia EE.UU.

En los últimos años, se ha destacado la importancia que tiene la IED sobre el crecimiento y desarrollo económico de México y en general sobre economías en desarrollo (Saavedra y Flores, 2017). Sobre todo, se destacan aspectos relacionados con el establecimiento de tratados bilaterales para la promoción de este tipo de inversiones (Rios *et al.*, 2014), y por otro lado, también se han estudiado aspectos negativos tales como las barreras a la IED y sus impactos económicos en las distintas regiones de México (Bri-seño, Martínez y Neme, 2015).

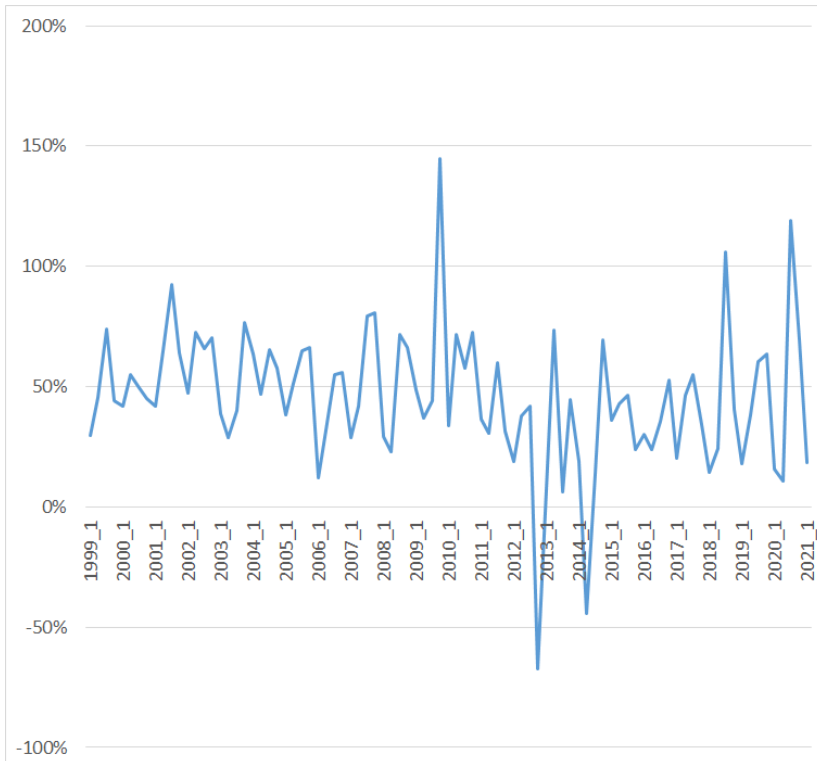
Algunos otros estudios se centran en el papel de la IED con origen y destino específicos, como puede ser la IED japonesa en los sectores automotrices (Lugo y Guzman, 2021), lo que podría explicar inclusive la distribución y aglomeración espacial de ciertas industrias en México.

Hasta donde se tiene entendimiento, en México no existe literatura que describa los determinantes de la NIED, esto también lo confirma el estudio de Saucedo (2020), por lo que estudiar los determinantes y/o características que determinan la NIED llena un hueco en la literatura que aún no ha sido atendido.

No obstante, para algunos autores como Ashraf, Herzer & Nunnenkamp (2016), la mayor parte de los flujos de IED hacia países en desarrollo lo constituyen las NIED. En el caso de México, de acuerdo con datos de la Secretaría de Economía, la NIED constituye alrededor del 40 % del total de flujos de IED hacia nuestro país (ver figura 1).

1 University Tufts (2013). “Inversión Extranjera Directa y Desarrollo Sustentable”. <https://sites.tufts.edu/gdae/>

Figura 1
NIED en México como porcentaje del total de IED



Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía.

Por la creciente importancia de la NIED, y por la falta de estudios al respecto de las características de los clústeres que conforman la NIED, es un problema que debe ser abordado; por ello, en el siguiente apartado se realiza una descripción del método aplicado para estos fines.

Metodología

Para la presente investigación se divide la metodología en dos partes, por un lado, se utiliza una técnica de deformación de tiempo dinámica

(*dynamic time wrap* o DTW), que es una técnica utilizada para reconocer patrones entre matrices o series temporales con diferente longitud y/o diferente velocidad. Con esto, se pretende identificar agrupaciones de entidades federativas con similitudes en sus patrones de atracción de nueva inversión extranjera directa. Los datos que se utilizan provienen de una petición de información a la Secretaría de Economía por medio de transparencia, donde se solicitó el total de nueva IED por entidad federativa, sector económico (clave SCIAN), y país de origen, para el periodo que comprende el primer trimestre de 1999 y hasta el cuarto trimestre de 2019.

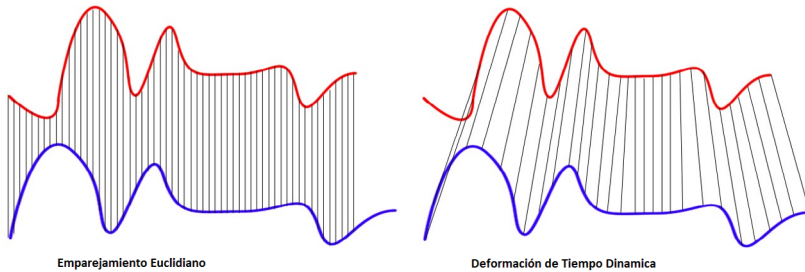
En la segunda etapa, se pretende hacer una descripción de las distintas agrupaciones, esto con la idea de identificar factores que pudiesen determinar la atracción de nueva IED. Para lograr esto, se utilizarán datos de variables económicas de INEGI, además de datos que provienen de otras fuentes de información.

Deformación de Tiempo Dinámica

Originalmente, estos algoritmos se aplicaron para el reconocimiento de patrones de sonido y video en los años 70, pero en los últimos años se han utilizado para detectar patrones de series de tiempo financieras. Su desarrollo se deriva de las fallas en la utilización de distancias euclidianas para reconocimiento de similitudes, pues estas distancias reconocen patrones en un mismo punto en el tiempo, pero no reconocen patrones cuando la longitud y/o velocidad de las series es diferente. Para ello, se muestran dos imágenes que ayudan a comprender esta idea.

Figura 2

Deformación de tiempo dinámica vs. emparejamiento euclidiano



Fuente: Obtenido de <https://towardsdatascience.com/dynamic-time-warping-3933f25fcdd>

De la figura 2, se puede entender que las distancias euclidianas o cualquier otro tipo de distancias convencionales en el análisis multivariado (Manhattan, Mahalanobis, etcétera) no son eficientes en el reconocimiento de patrones de series temporales. De esta manera, el algoritmo de deformación de tiempo dinámica desarrolla una coincidencia de uno a muchos para que los valles y picos con el mismo patrón coincidan perfectamente, y no quede nada fuera para ambas curvas (figura 2).

El algoritmo desarrollado utiliza la siguiente lógica, donde dos series de tiempo (serie base y otra serie) son consideradas similares cuando es posible mapear con una función, llamada $f(x)$, de acuerdo con las siguientes reglas, que hacen coincidir magnitudes utilizando una ruta óptima (deformación).

$$f(x_i) \text{ mapea a } f(x_j) \text{ cuando } i \leq j$$

$$f(x_i) \text{ mapea a } f(x_j) \text{ solo cuando } (j - i) \text{ es un rango fijo}$$

Para poder comparar dos series de tiempo (x e y) se requiere una medida de costos locales, llamada en ocasiones medida de distancias locales, la cual se define como una función:

$$c(x, y)$$

Se dice que típicamente $c(x, y)$ es pequeña si x e y son disímiles entre ellas, y es grande si son similares. Cuando se evalúan las medidas de costos locales para cada elemento de las secuencias x e y , se obtiene la matriz de costos.

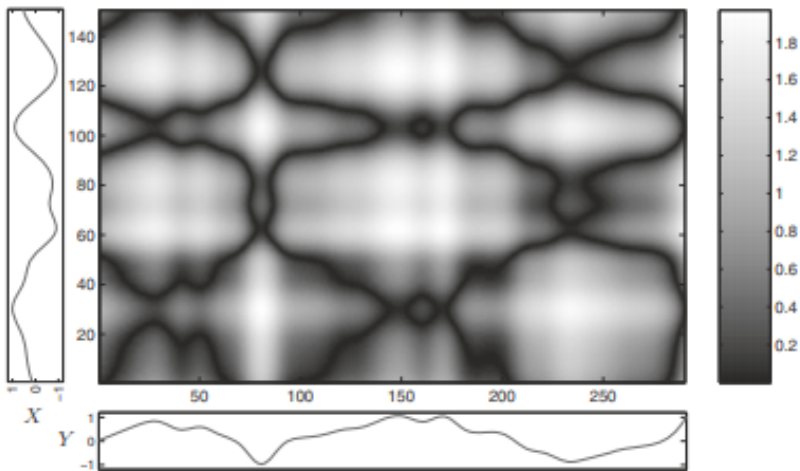
Los costos totales $C_p(x, y)$ de una ruta deformada p entre x e y respecto de las medidas de costos locales c es definida como:

$$C_p(x, y) = \sum_{l=1}^L c(x_{nl}, y_{ml})$$

Una ruta óptima p^* entre x e y , está dada por aquella ruta que genera el menor costo posible, tal como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Alineación temporal de dos series



Fuente: Matriz de costos de las dos secuencias de valores reales X (eje vertical) e Y (eje horizontal) utilizando la distancia de Manhattan (valor absoluto de la diferencia) como medida de costo local c . Las regiones de bajo costo se indican con colores oscuros y las regiones de alto costo se indican con colores claros. Müller (2007).

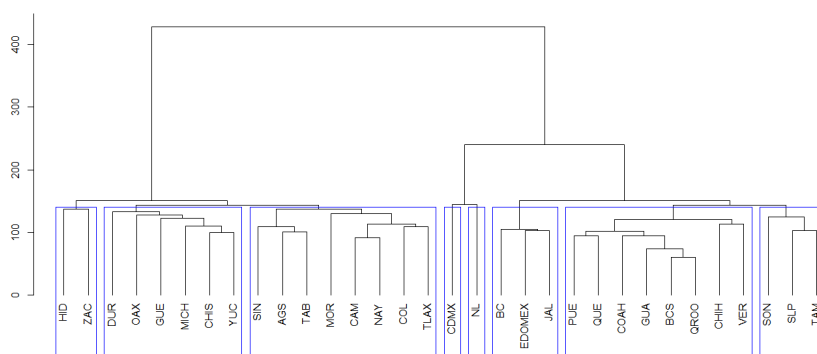
Con este método se puede determinar un dendrograma donde se muestran de manera visual los clústeres de atracción de NIED en México, con lo que se puede hacer una descripción de estos.

Resultados

En la primera parte de los resultados, se muestran los patrones con similitudes en series de tiempo de cambios porcentuales anualizados en la nueva inversión extranjera directa, por entidad federativa. Lo que muestra que existen al menos ocho agrupaciones, con estados que tienen similitudes por sus cambios porcentuales anualizados en la nueva IED.

Figura 3

Dendrograma, cambios porcentuales en la nueva IED



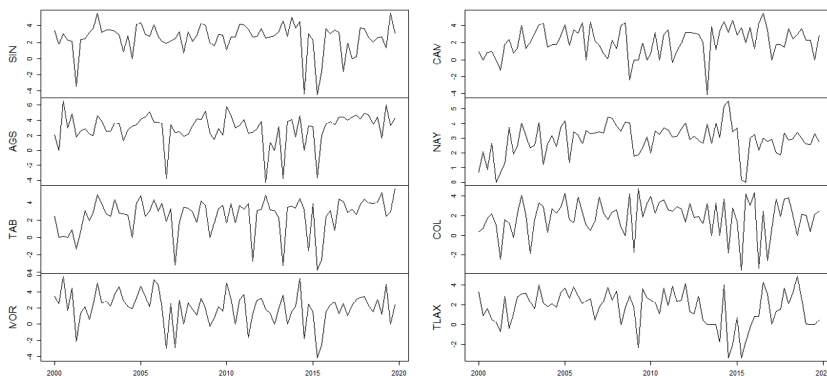
Fuente: Elaboración propia.

El algoritmo de deformación de tiempo dinámica permitió identificar ocho agrupaciones de entidades que reciben nueva IED, a decir:

- Clúster 1: Hidalgo y Zacatecas.
- Clúster 2: Durango, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Chiapas y Yucatán.
- Clúster 3: Sinaloa, Aguascalientes, Tabasco, Morelos, Campeche, Nayarit, Colima y Tlaxcala.
- Clúster 4: Ciudad de México.
- Clúster 5: Nuevo León.
- Clúster 6: Baja California, Estado de México y Jalisco.
- Clúster 7: Puebla, Querétaro, Coahuila, Guanajuato, Baja California Sur, Quintana Roo, Chihuahua y Veracruz.
- Clúster 8: Sonora, San Luis Potosí y Tamaulipas.

A manera de ejemplo, se muestra el Clúster 3 en la figura 4.

Figura 4
Clúster 3, cambios porcentuales en nueva IED



Fuente: Elaboración propia.

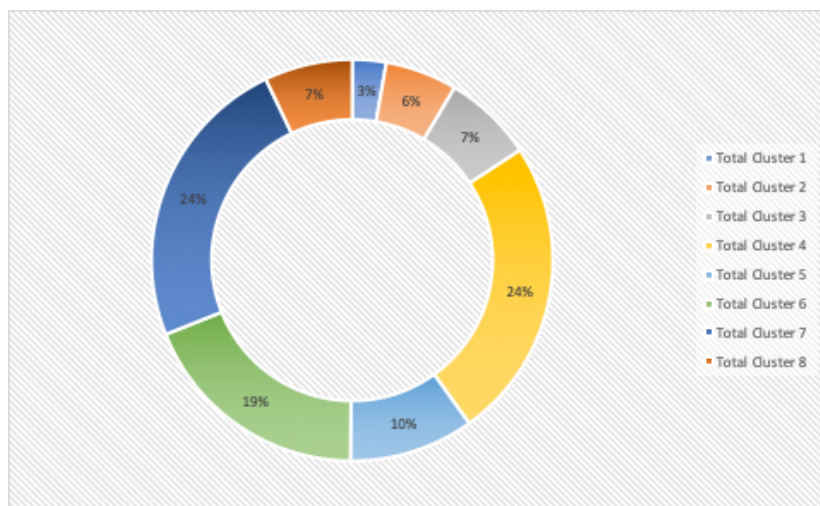
Como se muestra en la figura 4, existen muchas similitudes en los patrones de atracción de nueva IED en las entidades que conforman el Clúster 3. Estos mismos patrones son los que se encuentran en el resto de clústeres, excepto para las entidades de Ciudad de México y Nuevo León, las cuales tienen patrones de comportamiento muy distintos al resto de las entidades federativas.

Características de clústeres de NIED

Los ocho clústeres conformados por las entidades federativas no son regiones situadas en el mismo plano geográfico (es decir, una a un lado de otra), sino regiones que comparten similitudes en la atracción de NIED. En ese sentido, este apartado se evoca en la descripción de cada uno de los clústeres.

Figura 5

Total de NIED por clúster, en porcentaje: 1999-2018



Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía.

Como se puede apreciar en la figura 5, los clústeres que más han percibido NIED, entre 1999 y 2018, son el 4 (conformado por la Ciudad de México) y el 7 (integrado por B. C. S., Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Puebla, Querétaro, Quintana Roo y Veracruz), con 24 % cada uno. El segundo lugar, lo tiene el Clúster 6 (Baja California, Estado de México y Jalisco), con el 19 % del total; en tercer lugar, con el 10 % de atracción de NIED en dicho periodo, es el Clúster 5 (Nuevo León).

Es interesante observar que entre cuatro clústeres (trece entidades federativas) se llevaron el 77 % (191,941 millones de dólares) de la nueva NIED en todo el país; mientras el 23 % (58,860 millones de dólares) se repartió entre los otros cuatro clústeres restantes: el Clúster 1 (Hidalgo y Zacatecas), con 3 % de la nueva IED; el Clúster 2 (Durango, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Chiapas y Yucatán), que lograron atraer el 6 % de la NIED; el Clúster 3 (Sinaloa, Aguascalientes, Tabasco, Morelos, Campeche, Nayarit, Colima y Tlaxcala), con el 7 % del total de la NIED en el periodo; y el Clúster 8 (Sonora, San Luis Potosí y Tamaulipas), atrayendo el 7 %.

Figura 6
NIED por clúster y sector con más atracción
en México (porcentajes), 1999-2018



Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía.

Nota: Se tomaron en cuenta los sectores que más percibieron IED por clúster; las actividades que no tuvieron atracción fuerte se sumaron en Otros Sectores.

Como se observa en la figura 6, el sector con mayor atracción de nueva IED en cada uno de los ocho clústeres es la Industria Manufacturera, ya que representa en el 44 % de la NIED. En el Clúster 1, las actividades que más percibieron NIED fueron la Minería y la Industria Manufacturera, con 47 % y 42 % (véase Anexo 3), respectivamente, el 11 % restante se repartió entre las otras nueve actividades registradas por la Secretaría de Economía; el componente principal es la minería y la industria manufacturera enfocada en el metal. En el Clúster 2, la principal actividad en atracción de nueva IED fue la industria manufacturera, especialmente la alimentaria, con el 42 % de la inversión extranjera, y en segundo plano aparecen los Servicios Financieros y Seguros, con el 12 % de la NIED, siendo su fuerte el procesamiento de alimentos.

El Clúster 3 (CDMX) registró que la actividad económica con mayor atracción de nueva IED fue la Industria manufacturera, la enfocada al metal, con el 41 % de la inversión; otros tres sectores rondaron el 10 % de NIED, Servicios Financieros y Seguros, Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas, y la Minería, con el 12 %, 11 % y 9 % de NIED, respectivamente. En el Clúster 4, el 32 % de la

NIED ha permeado en los Servicios Financieros y Seguros, el 27 % lo ha captado la Industria Manufacturera, especialmente la maderera, y un 8 % fue dirigido a los Servicios Inmobiliarios y de Alquileres de Muebles o Intangibles.

En el Clúster 5 (Nuevo León), la actividad con mayor atracción de nueva IED fue la Industria Manufacturera, especialmente la dedicada al metal, con una captación del 65 % de la inversión; en segundo plano resultaron los Servicios Financieros y Seguros, con 12 % de la captación de NIED. Para el Clúster 6, las actividades con mayor captación de NIED fueron la Industria Manufacturera —a diferencia de los otros clústeres, la industria manufacturera no está especializada, sino que es muy equiparable en los tres tipos, alimentos, madera y metal—, con un 47 % de nueva IED, la Construcción y los Servicios Financieros y Seguros, con un 11 % de captación cada uno.

Para el Clúster 7, la Industria Manufacturera captó el 50 % de la nueva IED, particularmente en el metal, mientras que los Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas registraron el 15 % de la inversión, el 9 % fue dirigido a los Servicios Financieros y Seguros. Por último, el Clúster 8 registró su mayor captación de NIED en la Industria Manufacturera, particularmente en el tratamiento del metal, con 48 %; los Servicios Financieros y Seguros, el Energético (electricidad, agua y gas), y los Servicios de Transporte, Correo y Almacenamiento, lograron captar el 8 % de la NIED, cada uno.

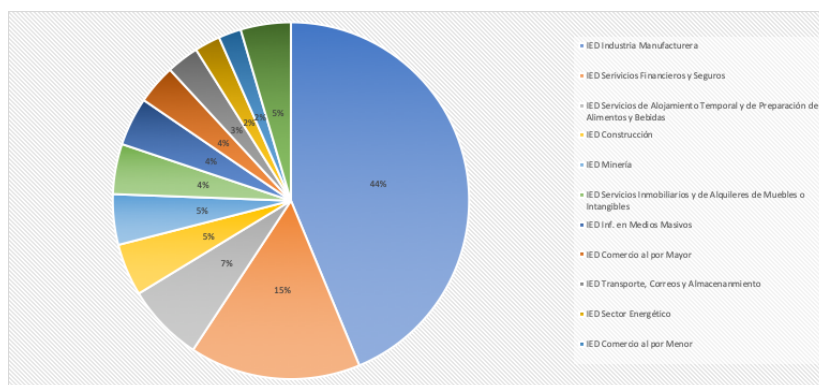
Es evidente que en los ocho clústeres la actividad económica con mayor captación de nueva IED fue la Industria Manufacturera, dividida en sus tres principales recursos (alimentos, madera y metal), lo cual denota un sector importante para la economía del país. En segundo plano se encuentran los Servicios Financieros y de Seguros, que en los ocho clústeres se mantuvo como la segunda o tercera actividad con mayor captación de nueva IED; esto tiene sentido, pues una proporción de las instituciones financieras son formadas con capital extranjero.

La NIED por sectores productivos en México

Desde otra perspectiva, la nueva IED en México se repartió en once sectores productivos: 1. Industria Manufacturera; 2. Servicios Financieros y Seguros; 3. Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas; 4. Construcción; 5. Minería; 6. Servicios Inmobiliarios y de Alquileres de Muebles o Intangibles; 7. Información en Medios Masivos; 8. Comercio al por Mayor; 9. Comercio al por Menor; 10. Transporte, Correos y Almacenamiento; y 11. Sector Energético (electricidad, agua y gas).

Figura 7

La nueva IED por Sectores Productivos en México, 1999-2018



Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía.

De acuerdo a la figura 6, el sector más atractivo para la NIED fue la Industria Manufacturera, logrando captar el 44 % del total (108,802 millones de dólares), pues es la actividad con mayor captación de NIED en los ocho clústeres; no obstante, el sector se divide en tres industrias diferentes: alimentos (33 % de IED de la Industria Manufacturera, 35,916 millones de dólares), madera (24 % de NIED de la Industria Manufacturera, 26,190 millones de dólares) y metal (43 % de NIED de la Industria Manufacturera, 46,696 millones de dólares) (véase Anexo 2).

El segundo sector con mayor atracción de nueva IED es el de Servicios Financieros y Seguros, con el 15 %, durante el periodo 1999-2018; mientras que la Industria Manufacturera tenía 108,801.57 millones de dóla-

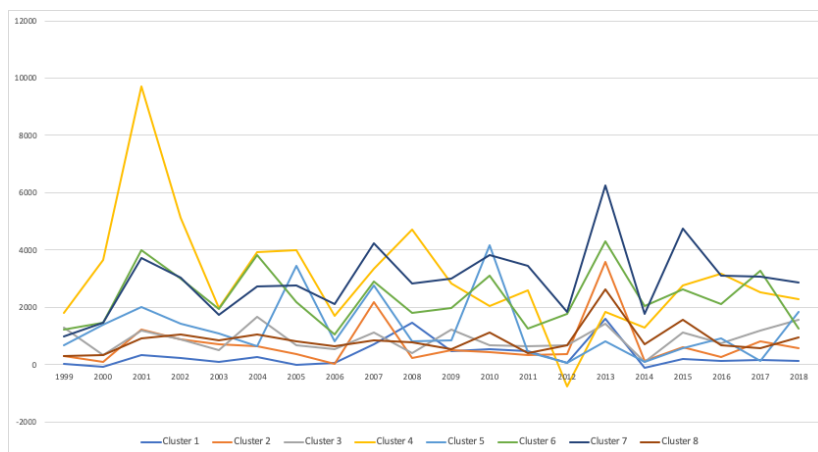
res, los Servicios Financieros recibieron 38,632.90 millones de dólares. Entre el sector industrial y el sector financiero del país, capturaron el 59 % (147,434.47 millones de dólares) de la nueva IED. El 41 % (101,366.31 millones de dólares) restante de la NIED atraída a México entre 1999 y 2018 se repartía entre nueve rubros productivos, donde el 7 % (17,502.15 millones de dólares) se dirigió a los Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas; otros servicios (excepto actividades gubernamentales), la construcción y la minería, percibieron el 5 % (alrededor de 11,500 millones de dólares cada uno); el Comercio al por Mayor, Información en Medios Masivos y los Servicios Inmobiliarios y de Alquileres de Muebles o Intangibles, atrajeron el 4 % (11 mil millones de dólares), cada uno, de la nueva IED en el periodo, mientras que el Sector Transporte, Correos y Almacenamiento logró atraer el 3 % (7 mil millones de dólares). Los sectores más rezagados en la atracción de nueva IED fueron el Energético (electricidad, agua y gas), el Comercio al por Menor y el Sector Agropecuario; los dos primeros lograron atraer el 2 % (5 mil millones de dólares), siendo el último el menos atractivo para la NIED, con 0.4 % (809.24 millones de dólares).

El comportamiento de la NIED y el PIB per cápita por clúster

En esta sección se analiza el caso de México y sus clústeres derivados de la captación de la NIED, y el crecimiento económico a través del PIB per cápita. Esto parte de la idea de la política económica en la cual México ha depositado su estrategia de integración comercial y económica global (Mendoza, 2011; Rivas y Puebla, 2016).

Figura 8

IED por clúster en México (millones de dólares), 1999-2018



Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía.

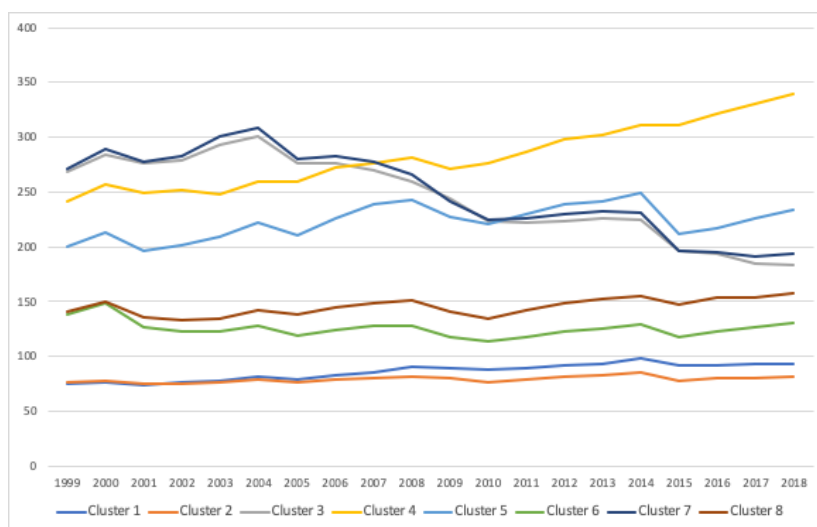
Como se puede observar en la figura 8, la nueva IED para cada uno de los clústeres se mostró fluctuante entre 1999 y 2018. El Clúster 4 registró una captación en descenso, obteniendo su pico más alto en 2001, y el más bajo en 2012, mostrando una recuperación en los años siguientes; no obstante, como pudimos observar en apartados anteriores, este clúster logró captar el 24 % del total de la nueva IED en dicho periodo, concentrándose en los servicios financieros y en la industria manufacturera de madera, razón por la cual se vio más afectada entre los años 2008 y 2012, derivado de la crisis financiera mundial. En contraste, el Clúster 7 registró una mejora en la captación de nueva IED al final del periodo, es decir, fue de menos a más; donde obtuvo su mayor captación en 2013, año en el que fue el clúster con mayor atracción de nueva inversión.

El Clúster 6 fue el tercero en captación de nueva IED en México y, como se observa en la figura 8, su registro fue fluctuante, sin cambios drásticos, oscilando entre los 2 mil y 4 mil millones de dólares anuales. Por otro lado, el Clúster 5 presentó una captación más volátil entre 1999 y 2018, teniendo cambios más abruptos, siendo su mejor año 2010; sin embargo, entre 2011 y 2017 su captación fue baja, convirtiéndose en el clúster con menos atracción de nueva inversión en 2013.

Los clústeres 1, 2, 3 y 8 se mantuvieron oscilando entre 0 y 2 mil millones de dólares durante el periodo, como se observó en la figura 5, son los clústeres con menor atracción de nueva IED, los cuales no pasan del 7 % del total de la inversión percibida en el país. Cabe recalcar que 2013 fue un año de recuperación para la NIED en el país, después de las secuelas de la crisis financiera mundial y la incertidumbre generada por las elecciones en 2012, todos los clústeres tuvieron una recuperación en la atracción de nueva inversión en dicho año.

Figura 9

PIB per cápita por clúster en México (miles de pesos), 1999-2018



Fuente: Elaboración propia con datos del BIE de INEGI (inegi.org).

Nota: El PIB tiene como año base 2013.

Dentro de la figura 9 se puede observar la evolución económica de cada uno de los ocho clústeres en el periodo 1999-2018. El Clúster 4 muestra un crecimiento económico ascendente, con crecimiento de 40 % entre 1999 y 2018, es decir, el PIB per cápita pasó de 241 mil pesos en 1999, a 340 mil pesos en 2018; una situación distinta a lo ocurrido con la NIED, la cual fue de más a menos en dicho periodo, no obstante, el Clúster 4 es la capital del país, la Ciudad de México, la cual concentra el 24 % de la NIED, siendo

su fuerte los Servicios Financieros y Seguros, generando empleos mejor remunerados. Los clústeres 7 y 3 registran un PIB per cápita en descenso entre 1999 y 2018, con un decremento de 30 puntos porcentuales, pasando de 270 mil pesos en 1999 a 185 mil pesos en 2018; para el Clúster 7 es un suceso inusual, puesto que registró una mejora en la captación de NIED en dicho periodo, además de concentrar el 24 % del total de la NIED en el país; por otra parte, en el caso del Clúster 3, este no tiene una fuerte atracción de NIED, concentrando el 7 % del total en el país.

El Clúster 5, representado por Nuevo León, denota un incremento en el PIB per cápita de 17 %, pasando de 200 mil pesos en 1999 a 234 mil pesos en 2018; este clúster concentró el 10 % del total de la NIED de México en dicho periodo, teniendo una captación de nueva IED fluctuante. Los clústeres 8 y 6 muestran un crecimiento económico poco fluctuante, con una mejora al final del periodo; no obstante, el primero muestra un incremento de 11 puntos porcentuales entre 1999 y 2018, mientras el segundo registra un descenso de 6 % en el mismo periodo; el caso del Clúster 6 es inesperado, debido a que concentra 19 % del total de la NIED de México entre 1999 y 2018; por otra parte, el Clúster 8 logró atraer el 7 % del total de NIED en el país.

Los clústeres 1 y 2 registran el menor PIB per cápita de los ocho clústeres entre 1999 y 2018, e incluso son los de menor captación de NIED en el mismo periodo, 3 % y 6 %, respectivamente. A pesar de ello, ambos registran un crecimiento económico, el Clúster 1 tuvo un incremento de 24 %, pasando de 75 mil pesos en 1991, a 94 mil pesos en 2018, y el Clúster 2 presentó un aumento de 8 %, iniciando el periodo con 76 mil pesos y cerrando con 82 mil pesos.

Si bien la NIED es un factor importante para el desarrollo productivo y crecimiento económico de los clústeres, esta comparación con el PIB per cápita y captación de nueva IED arroja que deben emplearse más variables para detonar la evolución de entidades federativas que conforman cada uno de los ocho clústeres. No se trata solo de pensar en cuánta NIED debe atraer cada uno de los clústeres, sino en qué tipo de nueva IED, como el país de origen y sector productivo al cual se está incentivando, se debe captar y con qué políticas económicas (gobernanza) están siendo reguladas.

Discusión y conclusiones

A pesar de que el estudio arrojó la conformación de ocho clústeres en México, entre los cuales se distribuye el total de la NIED captada por los sectores productivos de la economía mexicana, no todos los clústeres se encuentran en las mismas condiciones de desarrollo de sus actividades económicas; como se pudo observar, en tan solo trece estados (clústeres 4, 5, 6 y 7) de 32 se encuentra el 77 % del total de nueva IED del país, que son considerados los *greenfields*, mientras que el 23 % restante se distribuye entre 19 estados (clústeres 1, 2, 3 y 8).

Es de reconocerse la disparidad entre los clústeres, cuando dos de ellos están representados por una sola entidad federativa —Clúster 4 por la Ciudad de México, y Clúster 5 por Nuevo León—, entre los cuales lograron captar el 34 % del total de la NIED en el país; donde uno se trata de la capital del país, que cuenta con una gran concentración de empresas nacionales y transnacionales, y el otro se trata de un nicho industrial a escala nacional. A pesar de que el Clúster 7, al igual que el 4, concentra un 24 % del total de la NIED, el cual está conformado por ocho estados, teniendo una participación promedio del 12.5 % cada uno de ellos en el clúster.

Asimismo, la actividad económica o sector productivo que atrae la mayor parte de NIED es la industria manufacturera, la cual se divide en tres recursos: metal, alimentos y madera; siendo el procesamiento del metal la principal fuente de captación, con el 43 % (46,696 millones de dólares) de NIED del total percibido por dicho sector, el segundo lugar es el procesamiento de alimentos, con el 33 % (35,916 millones de dólares), y la industria maderera se lleva el 24 % (26,190 millones de dólares) restante. El segundo sector o actividad en captación de NIED en el país fueron los servicios financieros y seguros con el 15 % del total de la NIED en el país; no es un secreto que en México son mayoría las instituciones financieras extranjeras.

Por último, a pesar de que algunos clústeres registraron mayor captación de NIED entre 1999 y 2018, esta no impactó en su crecimiento económico, ya que en algunos casos la captación de nueva IED fue de más a menos, pero el comportamiento del PIB per cápita fue en ascenso, como sucedió con el Clúster 4; o el caso del Clúster 7, donde a pesar de con-

centrar el 24 % del total de la NIED en el país en dicho periodo, su PIB per cápita fue en descenso. Lo anterior denota que la nueva inversión extranjera debe tener complementos, como tipo de actividades económicas a beneficiar, país de origen, políticas económicas, entre otros elementos, para poder tener efectos visibles en el desarrollo productivo y crecimiento económico de los clústeres.

Referencias bibliográficas

- Antonietti, Roberto; Bronzini, Raffaello y Cainelli, Giulio (2015). "Inward Greenfield FDI and Innovation". *Economía e Política Industriale*, Vol. 42(1).
- Ashraf, Ayesha; Herzer, Dierk y Nunnenkamp, Peter (2016). "The Effects of Greenfield FDI and Cross-Border M&As on Total Factor Productivity". *The World Economy*, Vol. 39(11).
- Briseño, José; Martínez, Miguel y Neme, Omar (2015). "Impacto de la repatriación de utilidades de la IED estadounidense en América Latina". *Economía, Teoría y Práctica*, Número 43.
- Cantone, Erik y Solera, Irune (2016). "Greenfield Foreign Direct Investment and Structural Reforms in Europe: What Factors Determine Investments?". *European Economy*, Discussion Paper 033.
- Lugo, Guadalupe y Guzman, Leo (2021). "Spatial Clustering of Foreign Direct Investment: The Case of Japanese Automotive Suppliers in Mexico". *México y la Cuenca del Pacífico*, Vol. 10(29). <https://doi.org/10.32870/mycp.v10i29.720>
- Mendoza, J. E. (2011). "Impacto de la inversión extranjera directa en el crecimiento manufacturero en México". *Problemas del Desarrollo*, Vol. 167(42), pp. 45-70.
- Müller, Meinard (2007). *Information Retrieval for Music and Motion*. Springer, Nueva York.
- Rios, Ruth; Gamberger, Dragan; Ursprung, Dominique y Schweizer, Max (2014). "Impacto de Tratados Bilaterales de Inversión (TBI) de la Inversión Extranjera Directa Suizo (IED)". *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, Vol. 9(1).
- Rivas, S. y Puebla, A. (2016). "Inversión Extranjera y Crecimiento Económico". *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, Vol. 11(2), pp. 51-75. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmef/v11n2/1665-5346-rmef-11-02-00051.pdf>

Saavedra, Rafael y Flores, Carlos (2017). “La gobernabilidad como un determinante de la inversión extranjera directa en América Latina”. *Ensayos Revista de Economía*, Vol. 36(2).

Saucedo, David (2020). “The Effect of Drug-related Violence on Mexico’s Economy: Labor Productivity, Greenfield Fdi Projects, and Household Remittances. A Spatial Econometric Approach”. Doctor of Philosophy in Public Policy and Political Economy, The University of Texas at Dallas.

Anexos

Anexo 1

NIED dirigida a la Industria Manufacturera, 1999-2018

Clústeres	NIED Industria Manufacturera de Alimentos	NIED Industria Manufacturera de Madera	NIED Industria Manufacturera de Metal	NIED Total Industria Manufacturera
Total NIED Clúster 1	1,821.92	353.57	669.41	2,844.90
Total NIED Clúster 2	3,720.20	454.45	1,837.94	6,012.59
Total NIED Clúster 3	1,777.32	1,215.36	4,401.79	7,394.47
Total NIED Clúster 4	5,363.24	7,150.97	3,685.95	16,200.16
Total NIED Clúster 5	4,828.28	2,363.75	8,972.96	16,164.99
Total NIED Clúster 6	7,194.80	7,897.17	7,169.75	22,261.72
Total NIED Clúster 7	8,762.66	5,697.26	15,046.78	29,506.70
Total NIED Clúster 8	2,447.10	1,057.46	4,911.48	8,416.04
Total NIED Industria Manufacturera	35,915.51	26,189.99	46,696.07	108,801.57
Total NIED Industria Manufacturera %	33.01 %	24.07 %	42.92 %	100.00 %

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía.

Anexo 2

NIED por clúster y sectores más propicios en México, 1999-2018

Clúster 1					
Sector	NIED Minería	NIED Industria Manufacturera	NIED Servicios Financieros y Seguros	NIED Otros Sectores	
%	46.87 %	41.94 %	5.86 %	5.33 %	
Millones de dólares	3,179.820282	2,844.899046	397.317645	361.8348418	
Clúster 2					
Sector	NIED Minería	NIED Sector Energético	NIED Industria Manufacturera	NIED Servicios Financieros y Seguros	NIED Otros Sectores
%	17.72 %	7.19 %	41.64 %	12.11 %	21.35 %
Millones de dólares	2,558.0563	1,037.944229	6,012.593884	1,748.721883	3,082.245461
Clúster 3					
Sector	NIED Minería	NIED Industria Manufacturera	NIED Servicios Financieros y Seguros	NIED Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas	NIED Otros Sectores
%	9.37 %	41.07 %	11.67 %	10.69 %	27.19 %
Millones de dólares	1,687.567878	7,394.471411	2,100.157807	1,925.181078	4,895.923354
Clúster 4					
Sector	NIED Industria Manufacturera	NIED Comercio al por Mayor	NIED Servicios Financieros y Seguros	NIED Comercio al por Mayor	NIED Otros Sectores
%	26.76 %	6.38 %	31.82 %	8.09 %	26.95 %
Millones de dólares	16,200.1626	3,859.418032	19,265.45964	4,898.554609	16,312.88384

Clúster 5					
Sector	NIED Industria Manufacturera	NIED Servicios Financieros y Seguros	NIED Otros Sectores		
%	64.67 %	11.72 %	23.61 %		
Millones de dólares	16,164.98718	2,929.962429	5,901.971088		
Clúster 6					
Sector	NIED Construcción	NIED Industria Manufacturera	NIED Servicios Financieros y Seguros	NIED Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas	NIED Otros Sectores
%	10.93 %	47.51 %	10.87 %	7.44 %	23.25 %
Millones de dólares	5,123.105134	22,261.71911	5,092.736282	3,488.647225	10,893.85224
Clúster 7					
Sector	NIED Industria Manufacturera	NIED Servicios Financieros y Seguros	NIED Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas	NIED Otros Sectores	
%	49.55 %	9.29 %	14.56 %	26.60 %	
Millones de dólares	29,506.70059	5,529.088422	8,671.398255	15,840.48391	
Clúster 8					
Sector	NIED Sector Energético	NIED Industria Manufacturera	NIED Transporte, Correos y Almacenamiento	NIED Servicios Financieros y Seguros	NIED Otros Sectores
%	8.69 %	47.73 %	8.59 %	8.90 %	26.09 %
Millones de dólares	1,532.848874	8,416.03838	1,513.85964	1,569.45288	4,600.714576

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía.

CAPÍTULO 2

INVERSIÓN EXTRANJERA DIRECTA Y POLÍTICA DE PATENTES EN MÉXICO ENTRE 1950 Y 1970

JUAN IGNACIO CAMPA NAVARRO

Introducción

México, así como gran parte de países de América Latina y de otras regiones del mundo, adoptó a mediados del siglo pasado un modelo económico orientado al desarrollo de su industria nacional conocido en la historiografía como Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI en adelante). Durante tres décadas, de 1940 a 1970, el país experimentó una de las fases de crecimiento económico más altas en su historia económica, conformándose y expandiéndose diversos sectores de actividad, en especial el sector industrial manufacturero, el cual registró un crecimiento elevado y una expansión y modernización de sus estructuras productivas.¹ En este entorno, la IED fue un factor esencial en el financiamiento del modelo desarrollista, contribuyendo de manera importante también al progreso de las estructuras económicas, en especial las del sector industrial dentro del territorio nacional. La participación de la IED en el sector industrial pasó de un 7 % en 1940 a 74 % en 1970 dentro de la distribución sectorial total (Wioncekz, 1970).

Tal resultado se erigió dentro de un entramado de medidas de política económica llevadas a cabo por el gobierno federal mexicano con el

1 Una revisión de la economía mexicana en el largo plazo se encuentra en Cárdenas (2015); Márquez, (2014); Kuntz, (2010); Moreno y Ros, (2009).

objetivo de impulsar el desarrollo de la industria nacional. La política macroeconómica favorecía el proceso de acumulación mediante una relativa estabilidad de precios, un tipo de cambio fijo, y tasas de interés competitivas que fomentaban el ahorro interior y exterior. La política comercial proteccionista estableció altos niveles de protección efectiva para varias ramas de actividad industrial, fomentando la producción en territorio nacional. Del mismo modo, la política fiscal incentivaba el desarrollo del empresariado con importantes montos resultado del nivel de concesiones, subsidios, transferencias, etc., otorgadas. De manera concomitante, el gobierno dio gran importancia al fortalecimiento de la infraestructura física con la creación, expansión y modernización de carreteras, ferrocarriles, aeropuertos, puertos marítimos, telecomunicaciones, etc., imbuido todo dentro de un gran proceso de urbanización expansiva (Márquez, 2015).

Dentro de tal entramado de políticas, un elemento sustancial fue el cambio institucional propiciado en las diferentes administraciones por los gobiernos en turno en el periodo de estudio para promover el fomento industrial. Los arreglos institucionales que comprendieron tal entramado y su evolución fueron La Regla xiv de la Tarifa General de Importación (1930-1974); las reformas a la Ley Orgánica de Nacional Financiera (1941); la Ley de Industrias de Transformación (1941) y su posterior modificación en la Ley de Fomento de Industrias de Transformación (1946); las reformas a la Ley Orgánica del Banco Central (1942, 1944); la creación de la Junta de Coordinación y Fomento de la Producción (1942); la expedición del Decreto sobre la Inversión Extranjera Directa (1944) y su posterior modificación en ley sobre la IED (1973); el establecimiento de las Licencias de Importación (1944, 1947); la constitución de la Comisión Nacional del Control de Importaciones (1947); el establecimiento del régimen de Aranceles *Ad-valorem* (1947); las reformas a la Ley Orgánica del Banco de México y Nacional Financiera en 1947 y 1948, respectivamente; la creación de la Comisión Ejecutiva de Aranceles (1949); la Ley sobre Atribuciones del Ejecutivo Federal en Materia Económica (1950); la Ley de Industrias Nuevas y Necesarias que modificó a la Ley de Fomento de Industrias de 1946; la creación del Comité de Importaciones del Sector Público (1959); modificación de la Regla xiv (1961); el establecimiento del Programa de

Fabricación Integral (1962) y el Programa de la Industrialización de la Frontera Norte o Programa Maquila (1965); y la creación de la Comisión Nacional de Aranceles que sustituyó a la Comisión Ejecutiva de Aranceles (1966).² Todos estos arreglos institucionales tuvieron un efecto importante sobre el gobierno de la economía nacional, si bien sus efectos directos e implicaciones todavía están pendientes en gran parte de ser estudiados.

Respecto del Decreto sobre la Inversión Extranjera Directa, el cual fue expedido y aplicado a partir de junio de 1944, podríamos decir que hubiera sido un elemento central en la ordenación y desempeño de la IED en el país. Sin embargo, dicho instrumento estaba enfocado solo a ordenar ciertas actividades productivas como industria, agricultura, ganadería, adquisición, explotación y traspaso de inmuebles, dominio de aguas, tierras y concesiones de minas. Para otras actividades económicas como el petróleo, la minera o la energía eléctrica, se conformaron regímenes especiales. Pero el problema esencial del que adolecía este decreto era que no comprendía criterios y procedimientos claros y específicos para regular la inversión extranjera en los sectores económicos hacia donde iba dirigida. Lo más importante comprendido en dicho ordenamiento era que establecía la obligación a las corporaciones extranjeras de solicitar a la Secretaría de Relaciones Exteriores (SER) del gobierno federal la autorización para adquirir o controlar empresas o crear nuevas, ya sea con capital propio o mixto, dentro del territorio nacional. Una peculiaridad del decreto era que otorgaba a la SER la facultad prácticamente discrecional de negar, conceder o condicionar los permisos y de exigir que la participación del capital de las empresas nuevas en determinados sectores económicos fuera predominantemente de mexicanos (51 %). Sin embargo, si se trataba de establecer una actividad industrial nueva, dicho requisito podía ser exentado. En abril de 1945, mediante otro decreto, se excluyeron varias ramas de la lista de industrias que debían observar dicho requisito de participación del capital. Fuera de estas estipulaciones, tal instrumento no comprendía cuestiones regulatorias más amplias. Como tampoco con-

2 El año entre paréntesis corresponde a la fecha en que fue establecida, creada o promulgada cada una de las instituciones u organizaciones enlistadas. Para una revisión de estos instrumentos, ver lo expuesto en Campa (2016).

templaba ningún precepto que gobernara las modalidades, condiciones o pertinencia sobre las tecnologías que la IED conllevaba en sus procesos productivos y su relación con los ambientes locales (Méndez, 1969:112-116).

Dentro de este mismo medio de entramados institucionales, en enero de 1943 se estableció una nueva Ley de Propiedad Industrial que reformaba a su predecesora de 1929 vigente hasta entonces. Este medio institucional, conformado básicamente por la Ley de Propiedad Industrial, su Reglamento y la oficina de la propiedad industrial, fue diseñado y operado para fortalecer los derechos de propiedad industrial de los individuos y empresas emprendedores que buscaban proteger sus adelantos tecnológicos dentro del territorio nacional. En particular, el medio institucional promovió el fortalecimiento de la protección de las patentes con el fin de estimular la propensión a patentar de los inventores nacionales y extranjeros sobre sus invenciones tecnológicas. Esta política o régimen de patentes perduró a lo largo de todo el periodo del proteccionismo de la ISI hasta su eventual reforma en 1976. En tal sentido, a lo largo de tal etapa, los agentes económicos extranjeros, individuos y empresas, estuvieron al cubierto con una política de patentes que les otorgó una protección fuerte sobre sus derechos de propiedad, lo cual significaba un estímulo en su propensión a patentar. Lo cual, a su vez, daba un reflejo de una economía propiciatoria de un ambiente de negocios estable y seguro para las inversiones del exterior, esencial en las decisiones de localización de la IED.

Mencionado lo anterior, en el presente trabajo lo que buscamos y encontramos es que hay una relación positiva o directa entre la evolución de la IED y la evolución del registro de patentes nacionales en propiedad de extranjeros durante la etapa de la ISI. Esta relación se ilustra observando el comportamiento del nivel, ritmo y dirección de la inversión extranjera y de las patentes de extranjeros. Por otro lado, aseveramos que la política de patentes vigente durante el periodo proteccionista facilitó el proceso de patentamiento y no obstaculizó los intereses en las decisiones de inversión extranjera. Por último, se proponen algunas medidas dentro de la política de patentes para contribuir en el fomento de desarrollo de capacidades tecnológicas locales comprendiendo la IED.

En tal sentido, el trabajo está estructurado de la manera siguiente. En la sección próxima se hace una revisión de la literatura teórica y empírica

que expone el debate sobre las relaciones entre la IED y los derechos de propiedad industrial de las patentes. La sección tres aborda la metodología que se emplea para verificar o mostrar la relación entre la IED y las patentes. En la sección cuatro se desarrolla la argumentación, mostrando los datos estadísticos disponibles sobre la inversión extranjera y el registro de patentes de extranjeros, que durante el periodo de la ISI ambas actividades coevolucionaron en la misma dirección, lo que sugiere que ambas variables están relacionadas. Se expone y discute el papel de la política de patentes para fomentar el patentamiento y la entrada de IED al país. Finalmente, en la sección última se propone a manera de conclusión una revisión del grado de protección de la política de las patentes mexicana con el fin de que esta política no solo facilite la atracción de capitales del exterior sino también contribuya al desarrollo de las capacidades tecnológicas locales.

Revisión de la literatura

La relación entre la inversión extranjera directa y las patentes es un tema central en las discusiones y análisis teóricos y empíricos, en particular con su relación también con las cuestiones sobre el desarrollo económico. Partiendo del estudio de la IED se considera generalmente que las decisiones de inversión extranjera dependen de las ventajas de propiedad, ubicación e internacionalización con que cuentan las empresas. Esto es lo que dentro del andamiaje teórico se conoce como teoría OLI. El marco teórico OLI es un elemento esencial en la racionalidad para identificar la influencia que la protección sobre los derechos de propiedad, en nuestro caso las patentes, tiene sobre las decisiones de las empresas para invertir en el extranjero.³

Primo-Braga y Carsten (1998) mencionan que las ventajas de propiedad generalmente se verifican con la concurrencia entre activos intangibles como las patentes y marcas y la inversión extranjera. Por consiguiente, la adquisición de este tipo de activos o propiedad se vincula con

3 Por sus siglas en inglés, de la expresión “*Ownership-Location-Internalization theory*”.

la política que sobre los derechos de propiedad intelectual o industrial tengan los países huéspedes, política cuyas diferencias observadas en cada país pueden favorecer o restringir las solicitudes de estos activos por parte de los extranjeros. Estas diferencias en el diseño y funcionamiento de la protección de la política de patentes entre países supone también que proporcionan una ventaja de ubicación, ya que el alcance de los derechos de propiedad de las patentes se limita al territorio donde fueron registradas, por lo tanto, difieren entre fronteras nacionales. Los diferentes grados de protección que ofrecen los países pueden influir en el lugar donde una corporación, por ejemplo, decide ubicarse. Finalmente, el grado de protección que ofrecen las patentes puede influir en la decisión de los inversores de internalizar o externalizar sus activos intelectuales, dependiendo del volumen de beneficios y costes (en particular los de transacción) que genere la variación de la protección.⁴

Por consiguiente, ¿en qué medida y en qué dirección se da tal relación? Un cúmulo de trabajos teóricos y empíricos sostiene que la IED se lleva a cabo con más probabilidad en los países que cuentan con una política de protección fuerte de patentes, ya que en ellos se da un riesgo más bajo de inventar alrededor de o de imitar los adelantos tecnológicos por parte de competidores, lo que conduce a un aumento en la propensión a patentar de tales tecnologías. Por tanto, se propone que hay una relación positiva entre la IED y las patentes propiedad de extranjeros.

Hay que tener presente que la aseveración anterior no es generalizable, en el sentido de que dicha relación no se da en todo tipo de actividad económica, sino que depende según el tipo de producto o proceso que se explota en cada industria de los países huéspedes. Por ejemplo, un estudio sobre IED de EE.UU., Alemania y Japón mostró que en las industrias química y de maquinaria y equipo las patentes influyen fuertemente en las decisiones de IED, mientras que en las industrias del transporte, metales, alimentos, ventas y distribución dicha influencia es escasa (Mansfield, 1995).

4 La internalización en este caso se refiere a la IED llevada a cabo en cualquier país del extranjero. La externalización se refiere en sentido estricto a la venta de los activos intangibles (patentes) o el licenciamiento de la producción que una empresa le otorga a otra empresa, residente esta última en el exterior.

Por el contrario, diversos estudios proponen que una protección fuerte de las patentes no es la medida de política adecuada para la atracción de la IED. En estos trabajos se propone que una protección débil sería más conveniente para la atracción de las inversiones del exterior. En principio, y atendiendo a una lógica de sustitución en las preferencias entre actividades, una protección débil de las patentes evitaría que los titulares de las patentes alcancen un poder de mercado de sus productos patentados más alto, lo que aumentaría el interés por exportar en lugar de invertir, ante la rentabilización de mercados cautivos. A su vez, una protección débil o limitada favorece la propensión a la IED en lugar del licenciamiento, ya que la internalización de la producción en el exterior facilita a las corporaciones mantener el control directo de sus activos tecnológicos.

En cuestiones de desarrollo, mientras los países desarrollados son exportadores netos de tecnología, los países en desarrollo son importadores netos, por tanto, si estos últimos adoptan políticas de patentes de protección débil pueden beneficiarse de ciertas actividades de innovación sin que se reduzcan los niveles de IED. En el extremo hay estudios que suponen la eliminación de las políticas de protección de patentes o reducir lo más posible su grado de protección, ya que al amparo del proteccionismo legal se constituyen estructuras monopólicas y oligopólicas muy poderosas que no favorecen el bienestar social. Finalmente, hay algunos estudios empíricos que señalan que la protección de los derechos de propiedad de patentes se correlaciona de manera insignificante con las entradas de IED, lo cual debería ser tomado en cuenta por los países en desarrollo a la hora de formular sus políticas de patentes.⁵

Finalmente, otras investigaciones formulan eclécticamente que la política de patentes es solo un factor más a tomar en cuenta en las decisiones de inversión que hacen los agentes económicos, puesto que son diversos factores tanto económicos como institucionales (en un orden más amplio) el foco de atención en la determinación del grado de la IED

5 En este documento hemos pasado por alto el debate sobre los tipos de sistemas o regímenes de patentes, en específico las diferencias entre política de protección fuerte *versus* política de protección débil de los derechos de patentes, de lo cual se conforma un acervo importante de literatura. Para un resumen y algunas implicaciones para el caso mexicano, ver Campa (2020).

(Adams, 2010; Mogrovejo, 2005). En resumen, parece que la influencia de las políticas de patentes sobre la IED parece ser teórica y empíricamente ambigua, contradictoria e inacabada, por lo cual es conveniente incrementar el estudio de este tema, lo cual es el modesto propósito de este documento.

Metodología

El trabajo presente busca mostrar la relación, a un macronivel de los datos, entre las patentes registradas en territorio nacional por individuos y empresas extranjeras y el registro de la actividad de IED observada en México en el periodo de 1950 a 1970. Se discute y analiza el papel de la política de patentes para fomentar la propensión a patentar de extranjeros y el fomento a la atracción de la IED. Finalmente, se debaten las ventajas y desventajas del diseño institucional y se formulan algunas recomendaciones de política sobre el grado de protección de las patentes para fomentar procesos de desarrollo de capacidades tecnológicas vía la IED.

Para el análisis de los datos, la información utilizada en el caso de la IED corresponde a una fuente secundaria proporcionada por Sepúlveda y Chumacero (1973), el cual hasta la fecha es el único trabajo con cierto grado de detalle de información estadística sobre el registro de la inversión extranjera en México en el periodo que estudiamos. En el caso de los datos de patentes propiedad de extranjeros, corresponden al total de patentes concedidas en el país a individuos, grupos de individuos y empresas cuya residencia es en el exterior. La información presentada proviene de una base de datos construida con información de la Gaceta de la Propiedad Industrial y cuyo método de construcción se expone en el trabajo de tesis realizado por Campa (2016).

La agrupación de los datos de IED y de patentes de extranjeros en la industria manufacturera por ramas de actividad se presenta de acuerdo a lo propuesto por Sepúlveda y Chumacero (1973) y Villareal (2005), lo cual facilita la ordenación y presentación de la información. Cabe mencionar que hay una diferencia entre ambos trabajos, pues en el primero, los autores presentan la rama de otras manufacturas, la cual no se encuentra en

la clasificación de Villareal. El problema es que en la metodología que presentan estos autores, no indican qué subramas o grupos de actividad comprenden dicha rama, lo cual nos impidió asignar las patentes correspondientes; situación que no se presenta en el trabajo de Villareal.

Para el caso del análisis de la formulación de la política de patentes durante el periodo estudiado se analiza la legislación en materia de patentes vigente en esa época, siendo básicamente la Ley de Propiedad Industrial y el Reglamento las fuentes para el estudio. Las recomendaciones se desprenden del análisis de la literatura existente y del análisis de la legislación.

Partimos de la primera aseveración de que existió una relación positiva entre la IED y las patentes registradas por extranjeros en el país en el periodo estudiado. Para tal efecto, presentamos un análisis descriptivo de macronivel de los datos disponibles determinando los niveles, ritmos de crecimiento y la dirección de la actividad de patentamiento de extranjeros y la actividad de inversión extranjera que arribó al territorio nacional.

En segundo lugar, formulamos que la política de patentes incentivó positivamente la propensión a patentar y favoreció o al menos no pareció haber limitado la entrada de flujos de IED al país con base, como ya mencionamos arriba, en el análisis hecho a los textos legales.

El rol de la política de patentes mexicana, con el fin de que además de incentivar la actividad de registro de patentes coadyuve con una política más amplia para la atracción de capitales del exterior y sobre todo al desarrollo de capacidades tecnológicas, es discutido mediante la contrastación hecha a elementos institucionales clave de la legislación de patentes con los aportes que la literatura propone.

Tenemos presente que las diversas medidas de política económica establecidas a lo largo del periodo de la ISI tuvieron algún efecto sobre el comportamiento de la IED, tal como lo establece la literatura. Sin embargo, dado que no contamos con evidencia de los resultados de cada uno de los instrumentos de política establecidos, no podemos validar que en realidad la IED dependió fuerte o débilmente de alguna de las otras políticas públicas ejercidas por el gobierno federal mexicano en la etapa examinada.

Inversión extranjera directa y política de patentes

En México, a comienzos de la década de 1940 se va perfilando un modelo de fomento a la industrialización vía la sustitución de importaciones, primero por la vía de los hechos y luego formalizándose por medio de la política económica y su organización (Bértola y Ocampo, 2010:167). En este inicio, en la economía nacional ya se contaba con un conjunto de industrias maduras de bienes de consumo no duradero y de algunas materias primas que se habían constituido desde el porfiriato y que progresaron después de la Gran Depresión (Haber, 1992).

Durante los años que duró el conflicto bélico mundial, la economía mexicana prosperó con un impulso a las exportaciones, sobre todo de ciertos productos demandados por la economía de guerra, tales como textiles, cerveza, algunos productos minerales y productos químicos que fueron fabricados con la base productiva existente. Por otro lado, las restricciones agudas para importar varios tipos de productos, maquinaria y equipos estimuló en un primer momento la producción y consumo local de algunos de estos tipos de bienes (Fujigaki, 1997). Para la segunda mitad de la década las condiciones se revirtieron, ya que la “protección natural” de la guerra se había terminado y muy pronto el comercio exterior mexicano se vio afectado, reflejando, por ejemplo, una caída de las exportaciones a países latinoamericanos en un 33 %, con tasas de crecimiento negativo y los consecuentes déficits comerciales importantes entre 1945 y 1949 (Gracida, 2002). Bajo estas condiciones, las élites del gobierno federal, del sector empresarial y del sindical acordaron impulsar un programa industrializador de corte proteccionista que pudiera mantener o ampliar las condiciones favorables registradas al comienzo y durante el conflicto bélico.

A partir de la década de 1950 se estableció formalmente el modelo económico proteccionista que esencialmente se enfocaba en promover la industrialización nacional. A lo largo del periodo de 1950 a 1970, en que predominó la política de ISI, la economía creció a una tasa de 6.5 % y el PIB per cápita a un 3.3 % en promedio anual. El sector industrial y el eléctrico fueron los que más crecieron, apuntalando el crecimiento nacional con tasas de 8 % y 12 %, respectivamente. La industria, a su vez, creció su

participación dentro del PIB total, de un 8 % a un 23 %. Las exportaciones e importaciones, a su vez, crecieron a ritmos de 5 % y 5.3 %, respectivamente, entre 1957 y 1970 (Ramírez de la O, 1980).

En este contexto, la IED registró el comportamiento observado en el cuadro 1. En el año de 1940, a comienzos del proceso de industrialización, los sectores que más inversión del exterior atraieron al país fueron el minero con un 24 %, el eléctrico con 32 %, y el de comunicaciones y transportes con un 32 %, respecto a la inversión extranjera total.

Cuadro 1

Distribución sectorial de la inversión extranjera
en México, 1940-1970 (en porcentaje)

sectores	1940	1950	1960	1968
agricultura	1.9	0.7	1.8	0.7
minería	23.9	19.8	15.6	6.0
petróleo	0.3	2.1	2.0	1.8
industria manufacturera	7.0	26.0	55.8	74.2
energía eléctrica	31.5	24.2	1.4	0.0
comercio	3.5	12.4	18.1	14.8
comunicaciones y transportes	31.6	13.3	2.8	0.0
otros servicios	0.0	1.5	2.5	2.5
total participación	100	100	100	100

Fuente: Wionczek (1970).

Al término del periodo, en 1968, se observa claramente que el sector manufacturero absorbió prácticamente tres cuartas partes de toda la inversión extranjera establecida en territorio nacional, muy por encima del sector comercial y minero, que le siguieron en el porcentaje de participación, apenas con un 15 % y 6 %, respectivamente, lo cual es un resultado congruente con la dinámica de la ISI, pues el sector industrial manufacturero fue el objetivo principal de la política económica de ese periodo. Este desempeño también fue reflejo de que conforme el proceso de industrialización pasaba de una “etapa de sustitución fácil” a una “etapa avanzada de sustitución” de importaciones, las corporaciones transnacionales, en particular las de origen estadounidense, aprovecharon las condiciones

para, sin dejar de invertir en sectores tradicionales como la minería, se enfocaron en la industria manufacturera, dedicándose a elaborar productos cuyos coeficientes de contenido tecnológico eran más avanzados y modernos, los cuales pudieron estar protegidos por derechos de patentes.⁶

Entre 1940 y 1970 el nivel de IED total y el nivel de la actividad de patentamiento registrada por extranjeros mostraron el comportamiento observado en la Gráfica 1.

Como vemos, ambas curvas, tanto la de la inversión extranjera como la del patentamiento de extranjeros, muestran un movimiento ascendente con el transcurso del periodo. La cifra de IED pasó de 449,110.000 dólares en 1940 a 2,822,272.000 de dólares de la época en 1970. Por su parte, el volumen de patentes propiedad de extranjeros pasó de 425 en 1940 a 6,185 en 1970. Las rectas de tendencias confirman la dirección ascendente de ambas actividades, lo que sugiere que tanto la inversión extranjera como las patentes de extranjeros coevolucionaron en una misma dirección, estableciéndose una relación positiva entre ambas.

Como mencionamos anteriormente, en 1943 se estableció una política de patentes nueva que sustituyó a la legislación de 1929 vigente hasta entonces. Ambas legislaciones comprendieron un articulado bastante similar, el cual, en principio, buscaba fortalecer los derechos de propiedad de los titulares de patentes nacionales y extranjeros, si bien la legislación de 1943 introdujo algunas novedades institucionales con el propósito de dar más certeza y seguridad a los derechos de patentes. En esencia, el entramado institucional de 1943 (Ley y su Reglamento) confería un conjunto de derechos y obligaciones por igual a ciudadanos mexicanos y extranjeros para el registro de solicitudes, concesiones y protección de patentes. Solo los inventores primeros y verdaderos, mexicanos y extranjeros, podían solicitar y obtener patentes.

Respecto de los extranjeros, la norma legal de 1943 comprendía todas las disposiciones del Convenio de París que le eran favorables a este grupo

6 Villareal (2005), por ejemplo, propone que el periodo de 1940 a 1955 fue una etapa de sustitución fácil de importaciones basada en la fabricación de bienes de consumo no duraderos, y de 1956 a 1970 fue una etapa avanzada de sustitución de importaciones basada en la producción local de bienes de consumo duraderos, intermedios, y en menor medida bienes de capital.

(trato nacional, derecho de prioridad, periodo de gracia para el pago de las tasas, etcétera).⁷ Sin embargo, esta legislación comprendía también ciertas disposiciones que favorecían directa o indirectamente a los agentes extranjeros. Por ejemplo, cualquiera que solicitaba una patente podía registrar hasta diez reivindicaciones (especificaciones técnicas de las invenciones sobre las que se busca su protección legal) sin coste adicional. Si se rebasaba este límite, cada reivindicación adicional requería el pago de diez pesos de la época, situación que no representaba ningún inconveniente para los extranjeros, en particular las grandes corporaciones, debido a su capacidad de pago elevada respecto de la que con que contaban los mexicanos. Por tanto, los extranjeros *de facto* tenían una ventaja sobre los mexicanos en el alcance o cobertura de la protección que se solicitaba dentro del país para con los adelantos tecnológicos propios. Del mismo modo, los costes monetarios de solicitar y obtener patentes establecidos por las diversas tarifas expedidas a lo largo de la vigencia de la legislación tenían un impacto menor en los extranjeros (sobre todo los norteamericanos y europeos) que en los mexicanos, debido a la paridad de los tipos de cambio. Más importante era que la legislación, si bien comprendía el licenciamiento obligatorio como una medida en contra de la falta de explotación de las patentes, este fue inoperante debido a las reglas establecidas para su ejecución. Del mismo modo, la revocación de las patentes por falta de explotación fue inoperante debido a la disposición de que los dueños de patentes podían justificar la falta de explotación, justificación que se llevaba a cabo mediante un procedimiento muy simple y favorable a cualquiera con recursos monetarios (Campa, 2016).

7 Para un estudio detallado de lo que es dicho Convenio o Convención, ver Penrose (1974).

Cuadro 2

Patentes de extranjeros e inversión extranjera directa por actividad industrial de ramas manufactureras, 1940-1970

INDUSTRIA	1950		1960		1970		Participación % acumulada		Tasa de Crecimiento Acumulada	
	Patentes	IED	Patentes	IED	Patentes	IED	Patentes	IED	Patentes	IED
							1950-1970		1950-1970	
Alimentos	4	17,355	12	43,374	93	148,300	1.5	7.4	17.0	11.3
Bebidas	4	2,580	3	19,966	2	87,214	0.1	3.9	- 3.4	19.2
Tabaco	0	18,308	5	17,557	34	59,337	0.5	3.4	N/A	6.1
Textiles	12	2,932	42	15,289	177	43,048	3.1	2.2	14.4	14.4
Vestido y calzado	14	919	5	1,304	29	13,732	0.7	0.6	3.7	14.5
Madera y sus productos	3	0	8	0	19	3,131	0.4	0.1	9.7	N/A
Editorial e imprenta	3	547	8	3,623	45	26,164	0.8	1.1	14.5	21.3
Cuero y sus productos	0	0	3	84	19	2,117	0.3	0.1	N/A	N/A
Muebles y otras manufacturas	11	10	19	1,334	110	10,224	1.9	0.4	12.2	41.4
Consumo	51	42,651	105	102,531	528	393,267	9.3	19.0	12.4	11.7
Papel y celulosa	4	990	9	23,144	60	63,891	1.0	3.1	14.5	23.2
Productos de caucho y plástico	16	14,897	33	51,757	98	86,171	2.0	5.4	9.5	9.2

										Participación % acumulada		Tasa de Crecimiento Acumulada	
INDUSTRIA	1950		1960		1970		Patentes	IED	Patentes	IED	Patentes	IED	
Química	118	38,685	415	212,989	2,482	617,885	40.9	30.7	16.5	14.9			
Productos minerales no metálicos	16	7,015	34	35,613	126	81,080	2.4	4.4	10.9	13.0			
Metales básicos	10	7,942	19	31,230	161	76,777	2.6	4.1	14.9	12.0			
Intermedios	164	69,529	510	354,733	2,927	925,804	48.8	47.7	15.5	13.8			
Productos metálicos	9	4,385	48	23,741	318	125,252	5.1	5.4	19.5	18.2			
Maquinaria mecánica	61	2,126	108	17,051	1,076	112,580	16.9	4.7	15.4	22.0			
Material eléctrico y electrónico	104	7,179	119	52,407	896	215,203	15.2	9.7	11.4	18.5			
Material de transporte	21	18,898	43	36,832	290	211,564	4.8	9.4	14.0	12.8			
Industrias manufactureras diversas	-	3,122	-	14,942	-	99,426	-	-	-	18.9			
Capital	195	35,710	318	144,973	2,580	764,025	41.9	33.3	13.8	16.6			
TOTAL	410	147,890	933	602,237	6,035	2,083,096	100	100	14.4	14.1			

Fuente: Datos de la IED tomados de Sepúlveda y Chumacero (1973, anexos). Datos de las patentes de extranjeros tomados de Campa (2016, anexo).

Como notamos en el cuadro 2, tanto el nivel de IED y el nivel de patentes de extranjeros aumentaron a lo largo del periodo, tanto por tipo de bien (consumo, intermedios y de capital), como en cada una de las ramas de actividad. Observamos que, al nivel acumulado, las participaciones tanto de la inversión extranjero como de las patentes de extranjeros tuvieron una concentración de modo similar. En los bienes intermedios esto claramente se nota, ya que fue donde se concentró la participación del volumen acumulado de IED con un 47,7 % del total de la inversión extranjera que entró al país entre 1950 y 1970. Asimismo, la cifra acumulada de patentes se acumuló en este subgrupo con un 48,8 % del patentamiento total por extranjeros. En un grado relativamente similar, las participaciones de la IED y las patentes extranjeras en los dos grupos restantes, bienes de consumo y bienes de capital, también muestran un patrón de concentración similar, lo que sugiere que ambas actividades tuvieron cierta relación directa positiva.

El dinamismo de la entrada de capitales y patentes del exterior muestra también una intensidad similar entre ambas actividades. En los tres grupos por tipo de bienes, las tasas de crecimiento acumulado en el periodo largo de 1950 a 1970 son positivas y con coeficientes muy similares entre la IED y las patentes de extranjeros. En el grupo de bienes de consumo, la IE registró un ritmo de crecimiento de 11.7 %, y el de las patentes de 12.4 %; del mismo modo, en los bienes intermedios el crecimiento fue de 13.8 % en la inversión y de 15.5 % en el patentamiento. Respecto de los bienes de capital, la IED creció a tasas de 16.6 % y las patentes a 13.8 % de modo acumulado en el periodo. Con más claridad, vemos que el ritmo de la IED total y el de patentamiento total en la industria manufacturera son prácticamente el mismo, en 14 %. Por ramas de actividad, notamos que varias son igualmente dinámicas tanto en IED como en patentes de extranjeros.⁸ Las ramas de productos metálicos, química, maquinaria mecánica, editorial e imprenta, papel y celulosa, y textiles, coinciden en registrar tasas de crecimiento positivas por arriba del crecimiento alcanzado en la IED total y en el patentamiento total. Del mismo modo, vemos

8 Consideramos las ramas de actividad como las más dinámicas, a aquellas cuyas tasas de crecimiento son superiores a la tasa promedio de toda la industria manufacturera.

un patrón similar entre las ramas menos intensivas con tasas de crecimiento por debajo de la media para toda la industria, como las ramas de material de transporte, productos minerales no metálicos y productos de caucho y plástico, donde las tasas de menor crecimiento se registran en ambas actividades: IED y patentamiento de extranjeros. Por su parte, algunas industrias tuvieron un ritmo divergente entre la IED y las patentes, pero esto puede entenderse como explica en su estudio Mansfield (1995), dado que no todos los sectores e industrias tienen la misma intensidad de patentar. Cabe mencionar que a niveles más desagregados en cada rama disponemos de algunos datos que muestran una coevolución similar entre ambas variables. En un nivel micro, se tiene información de que dentro de las empresas extranjeras que más invirtieron capitales dentro del país, también mostraron contar con una cartera más grande de patentes registradas en el territorio nacional. Sin embargo, por razones de espacio no podemos presentar la información disponible.

Dado el comportamiento antes descrito aducimos que hubo una relación positiva entre la IE y las patentes registradas por agentes extranjeros en territorio nacional, y argumentamos también que en esta relación parece que la política de patentes no obstaculizó la actividad de patentamiento y la inversión del exterior concomitante, sino que, por el contrario, parece que el grado de protección ofrecido a los derechos de propiedad de patentes de los extranjeros fue propicio para el establecimiento de sus capitales.

Conclusiones y discusión

La política de patentes establecida durante la ISI fue orientada a fortalecer los derechos de propiedad de los inventores dueños de patentes nacionales y extranjeros, siguiendo la orientación de las políticas de patentes precedentes. Las novedades institucionales del nuevo régimen de patentes de 1943 aumentaron el grado de protección con el fin en particular de incitar la propensión a patentar dentro del país de los extranjeros dueños de tecnologías nuevas. El aumento en la protección fue también de manera directa o indirecta, como hemos visto en este trabajo, con la finalidad

complementaria de atraer inversión extranjera directa dadas las presiones por requerimientos de tecnología y capitales que exigía el proceso de industrialización dinámico por el que atravesaba el país en esa época.

La relación que encontramos entre el patentamiento de extranjeros y la IED valida la proposición de que la política o régimen de patentes es un elemento relevante complementario de la política pública establecida con el objetivo de atraer capitales nuevos del exterior al territorio nacional. La política de patentes mexicana ha facilitado o al menos no ha limitado el registro de patentes de extranjeros, así como tampoco ha sido un obstáculo en los objetivos más amplios de la política de fomento a la IED. Sin embargo, poca atención se ha prestado en analizar el papel de la política de patentes sobre el fomento de los procesos de la actividad inventiva local y mucho menos estudiar la injerencia que pueda tener para fomentar procesos de internalización de la transferencia de tecnología vía la inversión extranjera.

Un fortalecimiento muy elevado de la protección del patentamiento, como hasta ahora se orientado la política de patentes nacional, puede conducir a generar o reforzar efectos perniciosos que la IED propaga en los países huésped incluso haciendo traspasos de tecnologías. Esto depende, como hemos visto en el repaso de la literatura, de los escenarios que emergen cuando se fortalecen los derechos de patentes en países en desarrollo.

Por ejemplo, de los escenarios que formulan Primo-Braga y Carsten el aplicable para México sería el de que si las capacidades de producción conllevan una importante capacidad para la fabricación de imitaciones pero limitadas capacidades de invención o inversión en I+D, un elevado nivel de protección de las patentes podría conducir a un desplazamiento de los productores locales, aumento de precios y transferencia de la renta de los consumidores y productores locales hacia los propietarios extranjeros, resultando en un negativo impacto en el bienestar social. En esta situación, lo recomendable no sería tanto en nuestro parecer la adopción de una política de patentes de protección débil de los derechos de propiedad, puesto que además de considerar los factores imprevistos que pudieran surgir en la incentivación de la actividad inventiva y de la innovación local mediante un entramado institucional laxativo, los

compromisos que tiene el país con los tratados internacionales lo harían prácticamente inviable.

Con todo, ciertos elementos de la política de patentes pueden favorecer la conformación de espacios donde la IED contribuya al desarrollo de capacidades tecnológicas locales. Reservar como no patentables algunos campos tecnológicos considerados estratégicos para el desarrollo científico, tecnológico, económico y social del país en relación a las biotecnologías, la inteligencia artificial, energéticos, entre otros. Una reglamentación pertinente para las reivindicaciones independientes y dependientes junto con el establecimiento de una tarifa progresiva conforme al número de reivindicaciones registradas. Una política de tarifas que discrimine en cierto modo entre los usuarios del régimen de patentes; en el sentido de que se otorguen amplios subsidios a los pagos hechos por individuos mexicanos por solicitar, obtener y proteger patentes. Mientras que las tarifas aplicables al resto de actores (empresas, organizaciones con o sin fines de lucro, fideicomisos, etc., nacionales y extranjeros) sean actualizadas regularmente conforme a la inflación y no se otorguen a estos actores por ningún motivo excepciones o prórrogas en los plazos de pago. De relevancia en los asuntos del fomento de capacidades tecnológicas locales está una revisión de la política de patentes que comprenda un entramado de disposiciones respecto de los derechos de transferencia de tecnología, en particular de los contratos de traspasos tecnológicos entre actores nacionales y extranjeros, similar en parte a lo que actualmente se comprende respecto de los contratos de franquicias. Finalmente, y de particular relevancia, está lo relacionado con la política de explotación de las patentes. La política de patentes nacional debería incentivar más la explotación o puesta en práctica de las patentes con el fin de promover procesos de internalización de las externalidades que la producción por extranjeros puede generar vía procesos de aprendizaje. Respecto de la explotación directa, se podrían formular políticas en las que dentro de los procesos de examinación para el otorgamiento de patentes se pondere entre los requisitos de evaluación un requisito que obligue a manifestar montos estimados en I+D junto con los montos de las inversiones extranjeras que se pretende realizar dentro del país. Con respecto del licenciamiento unilateral, se debería tener en cuenta una reglamentación

general sobre el registro, control y supervisión de los contratos de transferencia que se celebren entre todas las partes interesadas. Por último, en relación con el licenciamiento obligatorio, el cual ha sido inoperante desde su establecimiento hace más de un siglo, recuperar el articulado que exige un eficaz método para solicitar, conceder y administrar las licencias obligatorias y no dejarlo prácticamente como letra muerta, como se ha hecho hasta la fecha.

Referencias bibliográficas

- Adams, S. (2010). Intellectual Property Rights, Investment Climate and FDI in Developing Countries. *International Business Research*, 3(3), 201-209.
- Bértola, L. y Ocampo, J. (2010). *Desarrollo, vaivenes y desigualdad. Una historia económica de América Latina desde la independencia*. Madrid: Secretaría General Iberoamericana.
- Campa, J. (2020). Política de patentes e innovación en México en el plazo largo. En Ruiz, A. y Salas I. (ed.). *Temas contemporáneos de investigación en economía y políticas públicas* (115-151). Zapopan, México: Universidad de Guadalajara-Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas.
- (2016). *Patentes en México en la época de Industrialización por Sustitución de Importaciones* (tesis doctoral). Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Cárdenas, E. (2015). *El largo curso de la economía mexicana. De 1780 a nuestros días*. México: FCE-COLMEX.
- Fujigaki, E. (1997). Periplo industrial: 1940-1960. Una ojeada al surgimiento de algunas ramas. En M. Romero (coord.), *La industria mexicana y su historia, siglos XVIII, XIX y XX* (367-415). México: UNAM-Facultad de Economía.
- Gracida, E. (2002). *El siglo XX mexicano. Un capítulo de su historia 1940-1982*. México: UNAM-Facultad de Economía.
- Haber, S. (1992). Industria y subdesarrollo. *La industrialización de México, 1890-1940*. México: Alianza Editorial.
- Kuntz, S. (2010). *Historia económica general de México: de la Colonia a nuestros días*, México: El Colegio de México-Secretaría de Economía, México.

- Mansfield, E. (1995). *Intellectual Property Protection, Direct Investment, and Technology Transfer: Germany, Japan, and the United States*. IFC Discussion Papers. Washington, DC: World Bank Publications.
- Márquez, G. (2014). *Claves de la historia económica de México. El desempeño de largo plazo (siglos XVI-XXI)*. México: Fondo de Cultura Económica-Conaculta.
- Méndez, R. (1969). *El régimen jurídico de las inversiones extranjeras en México*. México: UNAM-Instituto de Investigaciones Jurídicas.
- Mogrovejo, J. (2005). Factores determinantes de la inversión extranjera directa en algunos países de Latinoamérica. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, (5), 51-82. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-47062005000200003&lng=es&tlng=es
- Moreno-Brid, J. y Ros, J. (2009). *Development and Growth in the Mexican Economy: An Historical Perspective*. Nueva York, EE.UU.: Oxford University Press.
- Penrose, E. (1974). *La economía del sistema internacional de patentes*. México: Siglo XXI, S.A.
- Primo-Braga, C. y Carsten, F. (1998). The Relationship between Intellectual Property Rights and Foreign Direct Investment. *Duke Journal of Comparative & International Law*, 9(1), 163-188.
- Ramírez de la O, R. (1980). Industrialización y sustitución de importaciones en México. *Comercio Exterior*, 30(1), 31-37.
- Secretaría de Economía (1942, 31 de diciembre). Ley de la Propiedad Industrial. Iniciativa de Ley. Diario Oficial de la Federación, (1-23).
- (1942, 31 de diciembre). Reglamento de la Ley de la propiedad industrial. Diario Oficial de la Federación, (23-31).
- Sepúlveda, B. y Chumacero, A. (1973). *La inversión extranjera en México*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Villareal, R. (2005). *Industrialización, competitividad y desequilibrio externo en México: un enfoque macro industrial y financiero (1929-2010)*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Wionczek, M. (1970). La Inversión Extranjera Privada en México: Problemas y Perspectivas. *Investigación Económica*, 30(119), 443-464.

CAPÍTULO 3

FLUCTUACIONES CÍCLICAS DE MÉXICO Y SUS PRINCIPALES SOCIOS COMERCIALES

DULCE ALBARRÁN MACÍAS
JORGE LUIS MORANCHEL BUSTOS

Introducción

En las últimas décadas se ha observado un aumento acelerado de la integración económica entre los diferentes países del mundo, impulsada por la firma de acuerdos comerciales bilaterales, multilaterales e intrarregionales (UNCTAD, 2015). Lo anterior ha propiciado mayores intercambios comerciales y financieros, así como un incremento en las similitudes de las fluctuaciones cíclicas entre las economías que llevan a cabo esos intercambios, es decir, una mayor sincronización de los ciclos económicos (Kose *et al.*, 2008; Duval *et al.*, 2014; Soyres y Gaillard, 2020).

En general, la literatura teórica ha señalado como principal mecanismo de transmisión de los ciclos económicos al comercio y, principalmente, el que se realiza dentro de una misma industria (intraindustrial), esto debido a que a medida que dos países integrados intercambian un mayor volumen de este tipo de comercio, las perturbaciones afectarán de manera muy similar a ambas economías y, por tanto, más sincronizados estarán sus ciclos económicos (Canova y Dellas, 1993; Gruben *et al.*, 2002; Arkolakis y Ramanarayanan, 2009).¹

1 Además de las transacciones financieras, otras causas que se asocian con la sincronización de los ciclos económicos son los choques a sectores específicos y a sectores comunes

El caso de México llama la atención por ser una de las economías con mayor apertura comercial a escala mundial. Desde su adhesión al GATT (*General Agreement on Tariffs and Trade*, por sus siglas en inglés), en 1986, México ha firmado diferentes tratados comerciales, entre los que destacan el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, ahora Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC), el tratado con la Unión Europea en el año 2000 y con Japón en 2004. Actualmente, estas economías se ubican como los principales socios comerciales de México y desde hace dos décadas representan, en promedio, el 80 % de su comercio total. Cabe señalar que, en promedio del año 2000 al 2020, el 67 % de este tipo de intercambios los llevó a cabo con Estados Unidos, 8 % con la Unión Europea, 2.8 % con Japón y 2.6 % con Canadá (INEGI, 2020).²

Dicho lo anterior, se esperaría un aumento de la sincronización de los ciclos económicos entre México y las economías con las que lleva a cabo mayores proporciones de comercio. En particular, en lo que respecta a México y Estados Unidos (EE.UU.), la literatura empírica ha reportado una intensificación del comercio entre estas naciones, sobre todo de tipo intraindustrial (Ibarra, 2013; Albarrán y Mejía, 2019), así como una mayor sincronización de sus ciclos económicos a partir de la entrada en vigor del TLCAN (Mejía *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2015; Loría y Salas, 2015); por lo tanto, se ha señalado al comercio como uno de los principales determinantes de los movimientos en fase de las fluctuaciones económicas de estas naciones (Mejía, 2002; Mejía *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2005; Delajara, 2012).

En el caso de Canadá y la Unión Europea, la literatura sobre los ciclos económicos de esas naciones con México es escasa (y no se encontraron trabajos con relación a Japón). En lo que respecta a Canadá, Cuevas *et al.* (2003) analizan la sincronización de los ciclos económicos de México y sus socios comerciales del TLCAN a través de la metodología Kydland y Prescott (1990), en el periodo 1981-2001. Estudian las correlaciones de los ciclos económicos para la muestra completa y para el periodo TLCAN (1994-2001), y sus hallazgos sugieren un aumento importante en dicha

(Canova y Dellas, 1993).

2 Datos mensuales, hasta octubre de 2020 (INEGI, 2020).

sincronización a partir de la entrada en vigor del tratado. También, Mejía (2004) estudia la sincronización de los ciclos económicos de México y Canadá, así como de seis economías, en el periodo 1960-2001. Este autor usa la metodología de los ciclos clásicos y entre sus resultados destaca una sincronización moderada para la muestra completa.

Por otro lado, Reyes (2018) estudia las fluctuaciones cíclicas en América Latina antes y después de la entrada de China a la OMC en el periodo 1981-2017 y entre sus hallazgos sobresale una sincronización alta de México y la Unión Europea entre el año 2002 y el 2017, a diferencia de la del periodo 1987-2001 (que es baja). Destaca la influencia de los choques globales como respuesta a la mayor sincronización entre las economías que analiza, así como el rol de China en la economía mundial.

En este contexto, a pesar de que la sincronización de los ciclos económicos de México y Estados Unidos ha sido ampliamente documentada, no se usó una muestra actualizada y aún no es claro qué la determina. Además, se aprecia escasa literatura (y nula en algunos casos) que estudie la relación de México con sus demás socios comerciales desde el punto de vista de los ciclos económicos. Por ello, en el presente documento se pretende analizar la sincronización de los ciclos económicos de México con sus cuatro principales socios comerciales (Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Japón) antes y después de la adopción de sus respectivos acuerdos para muestras entre el año 1980 y el 2020. Para lograrlo se usará la metodología de los ciclos de crecimiento propuesta por Kydland y Prescott (1990), tanto para la muestra completa como para las submuestras divididas en dos periodos (previo al tratado comercial y su adopción).

El documento se divide en cinco secciones adicionales. En la segunda se hará referencia al proceso de apertura comercial por el que atravesó la economía mexicana antes de convertirse en una economía con un gran número de tratados comerciales. En la tercera se aborda la metodología de la sincronización de los ciclos económicos, mientras que en la cuarta se discuten los resultados. Al final, se comentan las conclusiones.

Proceso de apertura comercial de México

Si bien la incorporación de México al TLCAN, en 1994, marcó un hito en la apertura comercial de nuestro país, los antecedentes del proceso de economía abierta y de mercado se ubican desde la década de los años ochenta. Los primeros pasos de la economía mexicana hacia la apertura comercial se explican, en mayor medida, por el agotamiento del modelo de industrialización por sustitución de importaciones (ISI) adoptado desde los años cuarenta, que se hizo inminente con la crisis de balanza de pagos en 1976³ y, sobre todo, con la crisis de la deuda de 1982 (Guillen, 2013).

En particular, a partir de la crisis de 1976 México adoptó programas de ajuste estructural con organismos internacionales, como con el Fondo Monetario Internacional (FMI), con el fin de poder restablecer el equilibrio de la economía mediante una desregulación del sector externo (Núñez y Novela, 1980; Cárdenas, 2019). Sin embargo, en ese mismo año se encontraron yacimientos petroleros en Campeche y Tabasco, lo que aminoró la crisis, aceleró el desarrollo de la economía mexicana y las exportaciones petroleras aumentaron de 13 %, en 1976, al 80 % del total de las exportaciones, en 1982, y el coeficiente de apertura comercial de México (como porcentaje del comercio con respecto al PIB) pasó de 18.35 %, en 1976, a 24.13 %, en 1982 (Gráfica 1) (Guillen, 2013).

Esto es, se siguió dependiendo del petróleo como pilar de la economía mexicana y posponiendo el cambio del modelo ISI a pesar de su inminente agotamiento. No obstante, el colapso de los precios internacionales del petróleo en 1981 y el aumento de las tasas de interés de Estados Unidos desencadenaron la crisis de México de 1982, que condujo a que el gobierno de México declarara una moratoria sobre los pagos del servicio de la deuda externa a mediados de 1982, pues esta creció en tan solo un año (de 1980 al 1981) de 57.4 a 72.2 millones de dólares (Moreno-Brid y Ros, 2010).

3 Crisis estimulada por un gasto público muy deficitario, el creciente endeudamiento externo y la devaluación del peso frente al dólar del 80 %, que trajo como consecuencia una mayor inflación (Cárdenas, 2019).

Por lo anterior, como parte de las estrategias para salir de dicha crisis, el gobierno mexicano implementó el Programa Inmediato de Reordenación Económica (PIRE)⁴ y el Plan Nacional de Desarrollo de 1983-1988, en los que se presentaron como objetivos lograr cambios estructurales en el aparato productivo, con el fin de mantener la economía en una expansión sostenida por medio de la ampliación del mercado interno, una inserción más eficiente en la economía internacional y la generación de fuentes permanentes de trabajo (Tello, 2010). En concreto, para lograr la inserción al mercado internacional se inició un proceso de desgravación arancelaria y de eliminación de barreras no arancelarias que generaron transformaciones en el comercio exterior mexicano, logrando una mayor apertura comercial (Gráfica 1).

En este sentido, la inserción al mercado internacional empezó a formalizarse con la incorporación de México al GATT, ahora Organización Mundial de Comercio (OMC), año en el que el coeficiente de apertura comercial se situó en 26.6 % (Gráfica 1). Cabe mencionar que, como parte de la adhesión a dicho organismo internacional, México se comprometió a fijar un arancel máximo del 50 %, que más adelante se redujo al 20 %, entre 1987 y 1988 (Infante y Delfín, 2010). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos del gobierno mexicano por la estabilizar la economía mexicana, la inflación llegó hasta tres dígitos en 1986 y la situación se agravó por el desplome del precio internacional del petróleo, cuando descendió de 30 a 10 dólares por barril, aproximadamente, y el PIB cayó en 3.8 % (Moreno-Brid y Ros, 2010).

Debido a lo anterior, en 1987 el gobierno mexicano propone el “Pacto de Solidaridad Económica”,⁵ cuya principal finalidad fue lograr la estabilización de precios y salarios, el congelamiento del tipo de cambio nominal y continuidad de la apertura comercial, con lo que el arancel en México

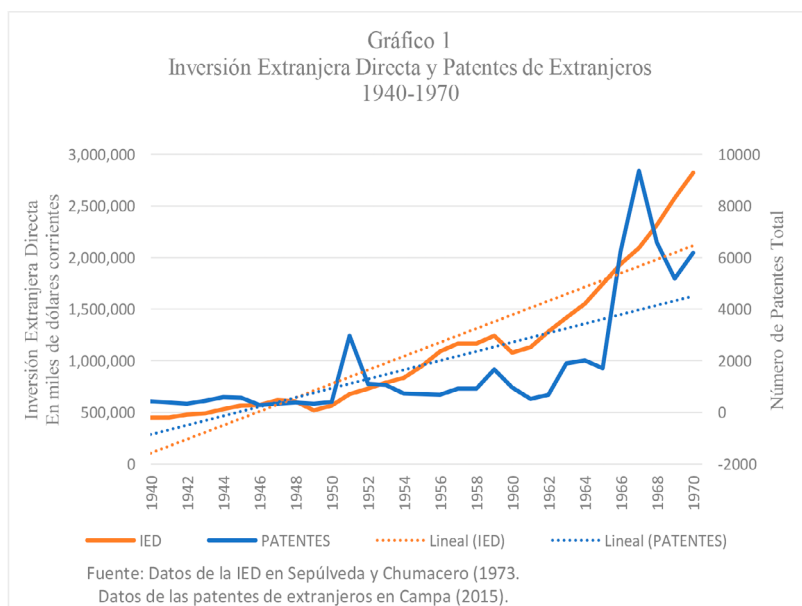
4 Entre los objetivos de este programa destacan el manejo de las presiones inflacionarias, la disminución del crecimiento del gasto público, la protección selectiva a la planta productiva y al empleo, la disciplina en la programación y en la ejecución del gasto público y la recuperación del control del mercado cambiario por el Estado (Tello, 2010).

5 Otras medidas que incluyó el gobierno fueron la privatización de las empresas públicas, la desregulación y la apertura comercial y financiera, y consideró la liberalización comercial como el factor determinante para acelerar el crecimiento.

disminuyó a un nivel máximo de 20 % (y continuó descendiendo), aunque la proporción de importaciones sujetas a permiso previo todavía alcanzaba el 27.5 %. En este sentido, las exportaciones y el sector manufacturero privado se convierten en los pilares de la nueva estrategia de crecimiento, modelo que fue denominado de economía abierta y de mercado y en el que se consideró que una mayor liberalización comercial produciría una mayor prosperidad económica (Zabludovsky, 2005; Rodríguez *et al.* 2015).

Gráfica 1

Proceso de apertura comercial de México: 1980-2020
(Coeficiente de apertura comercial)



Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial (2020).

Este conjunto de políticas fueron el preámbulo para la firma y puesta en marcha, en 1994, del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, signado en conjunto con Estados Unidos y Canadá, con un incremento sustancial de las exportaciones manufactureras y una desregulación mayor del sector externo, lo que provocó que en 1995 el coeficiente de

apertura aumentara 18.49 puntos, al pasar de 27.82 %, en 1993, a 46.32 %, en 1995 (Gráfica 1).

Cabe mencionar que el periodo posterior al TLCAN (1995-2003) se caracterizó por un aumento en los acuerdos bilaterales y multilaterales que México firmó con varios países: Nicaragua (en 1997), Chile (en 1998), El Salvador, Guatemala y Honduras, Unión Europea, la Asociación Europea de Libre Comercio, y con Israel (en el año 2000), Uruguay (en 2003), Japón (en 2004), Bolivia (en 2010), Perú (en 2011), La Alianza del Pacífico (en 2014), y el T-MEC, que entró en vigor en 2020, el cual sustituye al TLCAN (Secretaría de Economía, 2018). Este proceso de apertura comercial ha significado que el comercio represente una alta proporción del PIB (77.91 % en 2019) (Banco Mundial, 2020).

Como se ha señalado, los principales socios comerciales de nuestro país son Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Japón, los cuales en 1994 representaban el 89.75 % de las importaciones y el 93.65 % de las exportaciones totales de México. Estados Unidos se ha ubicado como el mayor socio comercial, pues en 1994 hacia allí se enviaron el 84.78 % de las exportaciones totales de México y de allá se recibieron el 69.10 % de los bienes totales que se importaban, por lo que la representatividad de los demás socios fue significativamente menor, con tan solo el 8.87 % de las exportaciones y el 19.69 % de las importaciones.

En este sentido, el comercio ha sido positivo a lo largo del periodo analizado, prueba de ello es que han aumentado en 382 % las importaciones y en 584 % las exportaciones de México, entre el año 1994 y el 2020, con sus cuatro principales socios comerciales mencionados con anterioridad. Cabe mencionar que la entrada de China a la OMC ha propiciado una disminución paulatina del comercio bilateral de la economía mexicana con las naciones mencionadas, sobre todo por las importaciones México-China (BANXICO, 2020).

Metodología

La metodología empleada en este documento es la de los ciclos de crecimiento de Lucas (1977) y Kydland y Prescott (1990), en la que Lucas (1977)

define al ciclo económico como los movimientos del Producto Interno Bruto por encima y por debajo de su tendencia; mientras que Kydland y Prescott (1990) definen a la tendencia de cualquier serie de tiempo como la curva suave que se trazaría a través del gráfico de una serie de tiempo.

El primer paso de esta metodología es la eliminación de tendencias de las series que se usen como indicador del ciclo económico, en este caso el PIB. Para ello se aplica el filtro lineal Hodrick y Prescott (HP) (1997), que es uno de los más usados en este tipo de análisis, el cual permite la descomposición estadística de la serie de modo que se usen variables estacionarias. En concreto, el indicador del ciclo estaría dado por la diferencia entre la serie observada y la tendencia estimada. En seguida, se analizan el grado de correlación a partir del indicador del ciclo y el grado de desplazamiento de fase con respecto al ciclo económico como un todo.

Resultados

Como se mencionó en la sección uno del presente documento, en este apartado se exponen los resultados del análisis de la sincronización de los ciclos económicos de México con sus principales socios comerciales. Un indicador usado comúnmente en la literatura empírica de los ciclos económicos es el Producto Interno Bruto, por lo que en este trabajo se considera dicho indicador con una frecuencia anual de México, Estados Unidos, Canadá, Unión Europea y Japón, de la base de datos de la OCDE (2021). Se tomaron diferentes muestras y submuestras para cada socio comercial de México, dependiendo del año de entrada en vigor del acuerdo comercial que los relacione, de un periodo previo y posterior a cada acuerdo y de la disponibilidad de la información, lo que se resume en la Tabla 1.

Tabla 1
Muestras y submuestras de estudio
(Frecuencia anual)

<i>Socio comercial/ Periodo analizado</i>	<i>Estados Unidos</i>	<i>Canadá</i>	<i>Unión Europea</i>	<i>Japón</i>
Muestra	1980-2020	1980-2020	1994-2020	1989-2020
Submuestras	1980-1993 1994-2020	1980-1993 1994-2020	1996-1999 2000-2020	1989-2003 2004-2020

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la sincronización de los ciclos económicos de México con sus principales socios comerciales se aprecian en la Tabla 2, representada por el coeficiente de correlación del componente cíclico de las series, obtenido a través del filtro HP. En general, se observan correlaciones moderadas para las muestras completas y un aumento de la correlación después de la adopción del tratado de México con cada uno de sus cuatro principales socios comerciales.⁶

⁶ En la literatura de ciclos económicos se adoptan valores arbitrarios para señalar una correlación baja ($\rho < 4$), moderada ($4 \leq \rho < 6$) y alta ($\rho \geq 6$).

Tabla 2
Coeficiente de correlación de México
y sus principales socios comerciales (Componente cíclico)

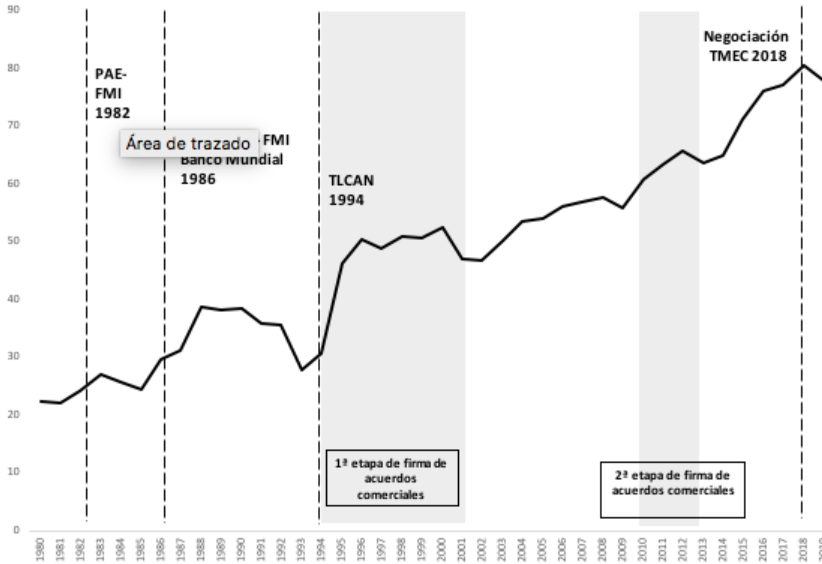
<i>Socio comercial</i>	<i>Muestra/submuestra</i>		<i>Coeficiente de correlación</i>
Estados Unidos	Completa	1980-2020	0.5
	Previa al tratado	1980-1993	-0.2
	A partir del tratado	1994-2020	0.6
Canadá	Completa	1980-2020	0.6
	Previa al tratado	1980-1993	-0.4
	A partir del tratado	1994-2020	0.7
Unión Europea	Completa	1996-2020	0.66
	Muestra previa al tratado	1996-1999	-0.3
	A partir del tratado	2000-2020	0.68
Japón	Completa	1989-2020	0.5
	Muestra previa al tratado	1989-2003	0.1
	A partir del tratado	2004-2020	0.6

Fuente: elaboración propia con datos de la OECD (2021).

En el caso de México y Estados Unidos es evidente el movimiento en fase de sus ciclos económicos a partir del TLCAN; es decir, la mayor similitud del comportamiento cíclico de cada economía, y es más claro en las crisis de la Gran Recesión y la originada por la pandemia por la COVID-19, en las que ambas economías presentan un importante descenso. Estos movimientos explican el grado de sincronización de los ciclos económicos de ambas naciones, tanto para la muestra completa como para las submuestras (Gráfica 2).

Gráfica 2

PIB de México y Estados Unidos, 1980-2020
(Componente cíclico filtro Hodrick-Prescott)



Fuente: elaboración propia con datos de la OECD (2021).

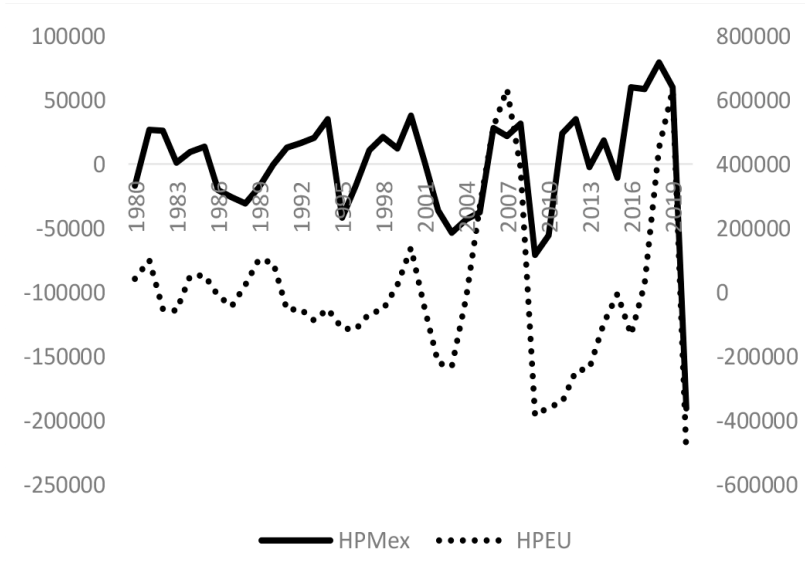
Nota: El eje derecho se relaciona con la serie de Estados Unidos.

En concreto, la correlación del periodo 1980-2020 es menor que la del periodo posterior al TLCAN, lo que sugiere un efecto positivo de dicho tratado en la sincronización de los ciclos económicos de las naciones en cuestión (Tabla 2). Una posible explicación de dicho efecto es el relevante aumento del comercio, principalmente, a partir de 1994 (puesta en marcha del acuerdo), que pasó de un volumen de comercio de bienes de 105,834 millones de dólares, en 1994, a 488,911, en 2020 (Gráfica 3). Ahora bien, el crecimiento del comercio de México con Estados Unidos se puede explicar por la creación de comercio derivado de la disminución de los aranceles (de 8 % a 1.3 % entre 1994 y 2009) acordados en el TLCAN, tal como lo señala la teoría de la integración económica.⁷

⁷ Véase Sadek (2013).

Gráfica 3

Comercio de bienes de México-Estados Unidos, 1981-2020
(Millones de dólares)



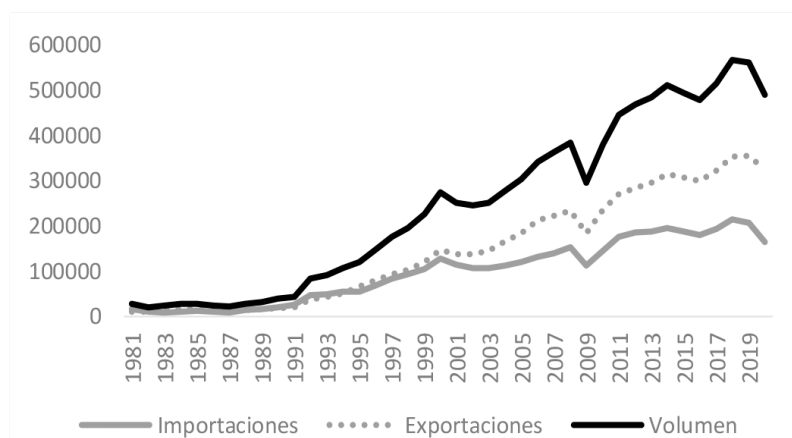
Fuente: Elaboración propia con datos de COMTRADE (2021).

Autores como Ibarra (2013) y Albarrán y Mejía (2020) han mostrado evidencia del impacto positivo de dicho tratado en el comercio exterior de México, sobre todo el de tipo intraindustrial. Lo anterior sugiere que el notable aumento de la sincronización de los ciclos económicos de México y Estados Unidos en el periodo 1994-2020, respecto del de 1980-1993, puede ser una respuesta de los mayores intercambios comerciales entre ambas naciones a partir de la adopción del TLCAN. En los trabajos de Mejía *et al.* (2006), Gutiérrez *et al.* (2005) y Delajara (2012) también se ha señalado al comercio como el principal mecanismo de transmisión de los ciclos económicos de estos países.

Por otro lado, como se aprecia en la Tabla 2, el coeficiente de correlación de México con Canadá para la muestra completa es de 0.6 y se puede interpretar como una sincronización moderada de sus ciclos económicos; no obstante, en el periodo 1994-2020 se presenta una correlación alta. Prueba de ello es que a partir de 1994 se observan mayores similitudes

en los movimientos del componente cíclico de México y Canadá, como en el caso de México y Estados Unidos, lo que proporciona evidencia del efecto positivo del TLCAN en la sincronización de ambas economías (Gráfica 4). Cuevas *et al.* (2003) también reporta un aumento de la correlación del crecimiento anual del PIB al analizar submuestras previas al tratado y posteriores.

Gráfica 4
PIB de México y Canadá, 1980-2020
(Componente cíclico filtro Hodrick-Prescott)

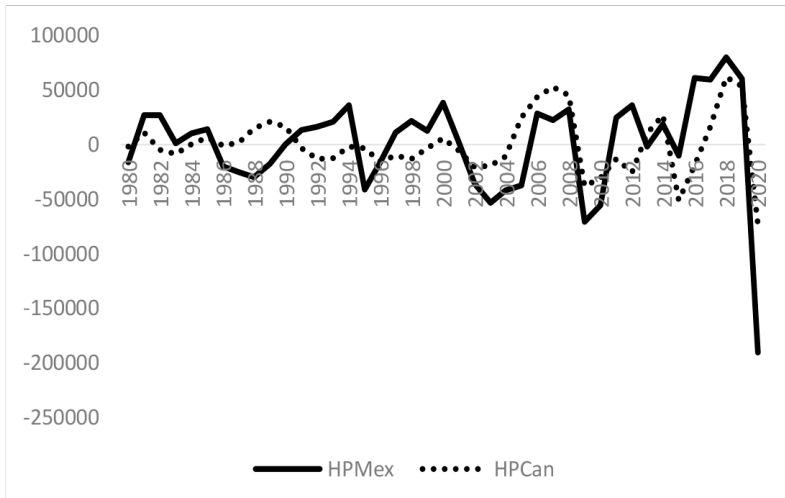


Fuente: Elaboración propia con datos de la OECD (2021).

En la Gráfica 5 se observa la evolución del comercio de bienes entre México y Canadá desde 1981 y 2020. Al igual que en el caso del comercio México-Estados Unidos, en general se aprecia una tendencia creciente desde el TLCAN, pero se estanca desde 2012 e incluso desciende al final del periodo. Con esto se puede suponer que la sincronización de los ciclos económicos entre México y Canadá puede explicarse por otros mecanismos adicionales al comercio. Mejía (2004) reportó resultados similares y señala que los ciclos económicos de México son altamente idiosincráticos, pues a pesar de que la economía mexicana y la estadounidense llevan a cabo mayores proporciones de comercio, se aprecia una mayor correlación del ciclo económico de México-Canadá.

Gráfica 5

Comercio de bienes de México-Canadá, 1981-2020
(Millones de dólares)

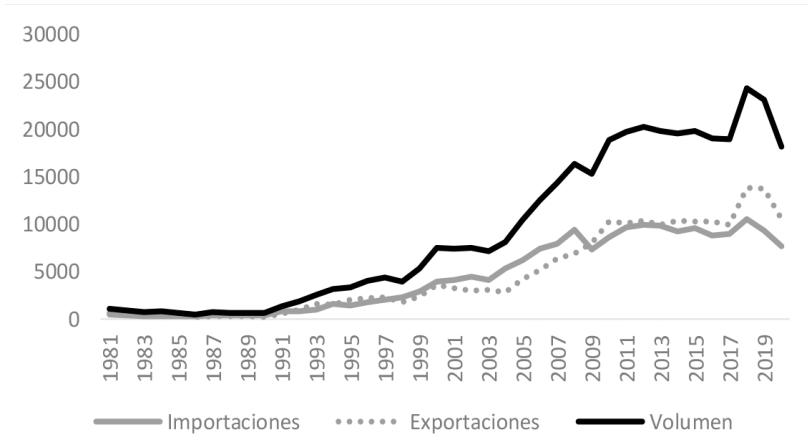


Fuente: Elaboración propia con datos de COMTRADE (2021).

En lo que respecta al tercer socio comercial más importante de México (la Unión Europea), para la muestra completa se aprecia una correlación de 0.66, resultado que se relaciona con una sincronización alta de los ciclos económicos de dichas naciones. Cabe señalar que la correlación de la muestra completa es similar a la del periodo 2000-2020 y ello se puede explicar por la submuestra tan pequeña que se usó (1996-1999) previa al acuerdo (debido a la falta de datos). No obstante, se aprecia un notable incremento del periodo previo al periodo del acuerdo comercial de la correlación de los ciclos económicos y evidencia de ello se observa en la Gráfica 6, en la que a partir del año 2000 los movimientos del componente cíclico del PIB de México y la Unión Europea se comportan de manera similar (Tabla 2). Resultados parecidos reportó Reyes (2018), en su trabajo muestra un aumento de la sincronización de los ciclos económicos de México entre 2002 y 2017.

Gráfica 6

PIB de México y la Unión Europea, 1996-2020
(Componente cíclico filtro Hodrick-Prescott)

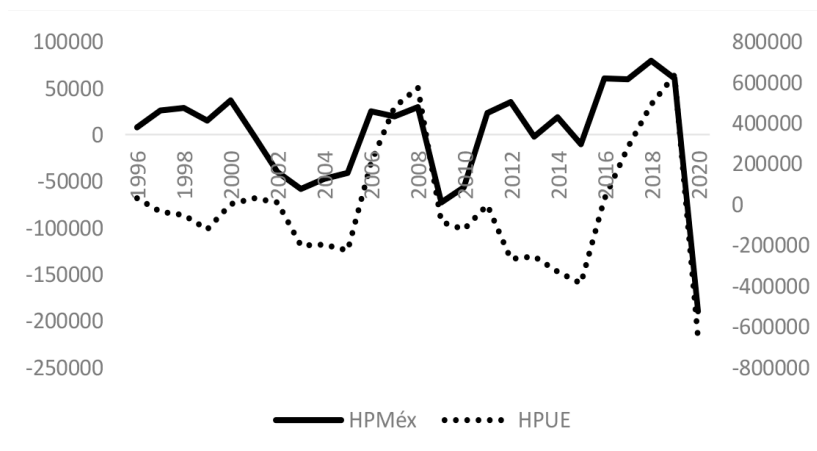


Fuente: Elaboración propia con datos de la OECD (2021).

Nota: El eje derecho se relaciona con la serie de la Unión Europea.

Lo mencionado previamente refuerza que los tratados comerciales propician un incremento de la sincronización de los ciclos económicos (Tabla 2). Además, en la Gráfica 7 se aprecia un crecimiento importante del comercio bilateral México-Unión Europea a partir de su acuerdo comercial, prueba de ello es que mientras en el año 2000 el volumen de comercio fue de 21,119 millones de dólares, en 2019 se ubicó en 78,488 millones de dólares, en el que las importaciones de México desde la región europea son mayores que las exportaciones. En este sentido, estos resultados sugieren que el mecanismo de sincronización de los ciclos económicos entre estas dos naciones ha sido el comercio.

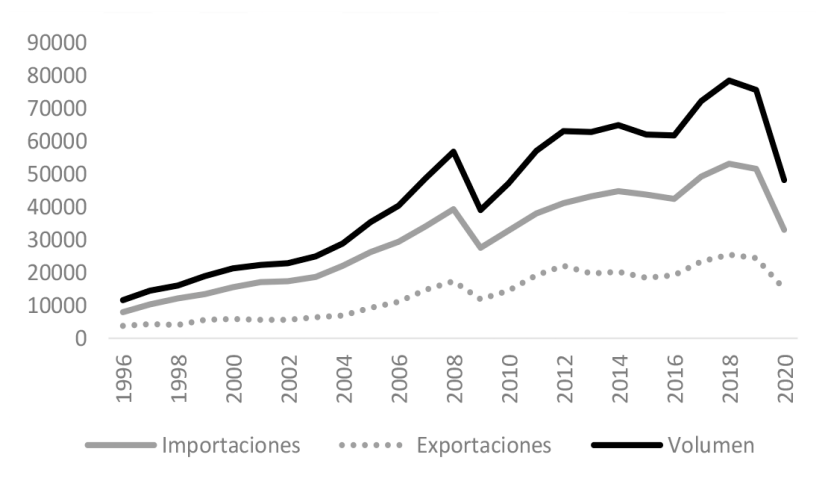
Gráfica 7
Comercio de México-Unión Europea, 1996-2020
(Millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2021).

Finalmente, el coeficiente de correlación de México-Japón para la muestra completa fue de 0.5, lo que representa una sincronización moderada de los ciclos económicos de estas dos naciones. Al igual que con los socios comerciales anteriores, se aprecia un aumento importante de la correlación del componente cíclico del PIB de México y Japón a partir del acuerdo comercial firmado entre ambas naciones (2004) (Tabla 2).

Gráfica 8
 PIB de México y Japón, 1989-2020
 (Componente cíclico filtro Hodrick-Prescott)



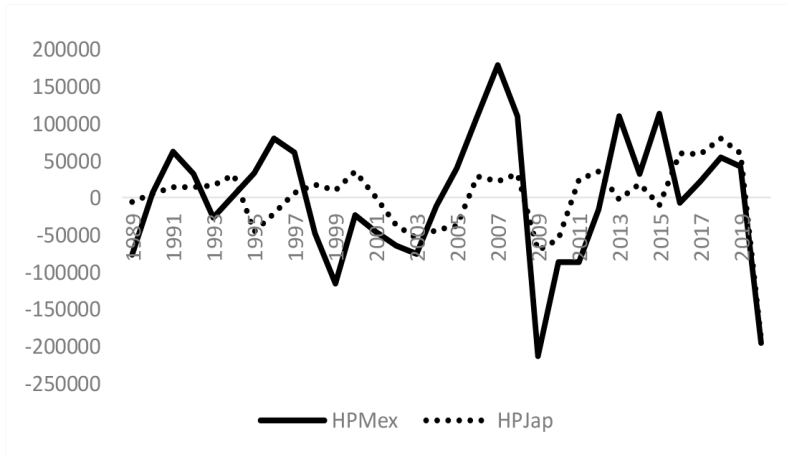
Fuente: elaboración propia con datos de la OECD (2021).

Nota: El eje derecho se relaciona con la serie de Japón.

A diferencia de las relaciones comerciales de México con Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea, en Japón no se aprecia una clara diferencia en la tendencia del comercio bilateral entre ambas naciones, antes y después de la adopción del acuerdo; es decir, al parecer el tratado comercial México-Japón no tuvo un efecto relevante en el comercio que se lleva a cabo entre estas dos naciones, por lo que no hay evidencia en este documento que sugiera que el comercio es un determinante de los ciclos económicos de ambas naciones.

Gráfica 9

Comercio de bienes de México-Japón, 1989-2020
(Millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia con datos de COMTRADE (2021).

En suma, la evidencia presentada sugiere que los tratados comerciales de México han promovido una mayor sincronización de sus ciclos económicos con Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Japón, sus principales socios comerciales.

Conclusiones

Una de las economías con mayor apertura comercial a escala mundial es México, actualmente con doce tratados comerciales. Los efectos de la integración comercial de la economía mexicana han sido diversos, pero este documento se centra en el efecto de las fluctuaciones cíclicas una vez que se formaliza dicha integración a través de la firma de tratados comerciales. Específicamente, en este documento se analizó la sincronización de los ciclos económicos de México y sus principales socios comerciales (Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Japón) antes y después de

la adopción de sus respectivos acuerdos comerciales para muestras entre el año 1980 y el 2020.

Como se expuso, como parte del proceso de apertura comercial de México, se firmaron diversos tratados comerciales y disminuyeron paulatinamente las tasas arancelarias, lo que condujo a una creación de comercio con sus socios, tal como lo predice la teoría de la integración económica. En concreto, el comercio bilateral de México con Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea aumentó significativamente a partir de la adopción del tratado comercial, excepto en el caso de Japón, en el que se aprecia una tendencia creciente a lo largo de la muestra.

Adicionalmente, se presentó evidencia de la sincronización moderada de los ciclos económicos de México con sus principales socios comerciales a través de la metodología de los ciclos de crecimiento propuesta por Kydland y Prescott (1990). En particular, se calculó el coeficiente de correlación del componente cíclico del PIB mediante la descomposición de la serie con el uso del filtro Hodrick y Prescott (1997) para muestras completas y submuestras previas y posteriores al acuerdo en cuestión. Entre los resultados destaca un aumento de la sincronización de los ciclos económicos a partir de la adopción del tratado, lo que puede sugerir que el comercio exterior desempeña un rol relevante en las fluctuaciones cíclicas de la economía mexicana, como lo ha señalado la literatura teórica.

Para seguir explorando el tema de las fluctuaciones cíclicas de México, se propone para futuras investigaciones un análisis sectorial de la sincronización de los ciclos económicos de la economía mexicana con sus socios comerciales para identificar a través de qué sectores se vinculan estas naciones y un análisis del comercio intraindustrial para conocer si este ha propiciado mayores similitudes en los movimientos cíclicos de la economía de México.

Bibliografía

Albarrán, D. y P. Mejía (2019). Volumen, intensidad y proporción intra-industrial de comercio bilateral entre México y Estados Unidos, 1981-2017. *Norteamérica*, (1), pp. 87-110.

- Arkolakis, C. y A. Ramanarayanan (2009). Vertical Specialization and International Business Cycle Synchronization. *The Scandinavian Journal of Economics*, 111 (4), pp. 655-680.
- Banco de México (2020). *Balanza comercial por países*. Recuperado de: <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CE125§or=1&locale=es>
- Banco Mundial (2020). *Datos México: Comercio como proporción del PIB*. Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/pais/mexico?view=chart>
- Canova, F. y H. Dellas (1993). Trade interdependence and the international business cycle. *Journal of International Economics*, (34), pp. 23-47.
- Cárdenas, E. (2019). *El largo curso de economía mexicana de 1780 a nuestros días*. Ciudad de México, CFE, CM.
- COMTRADE (2021). *UN Comtrade Database*. Recuperado de: <https://comtrade.un.org/>
- Cuevas, A., M. Messmacher y A. Werner (2003). Sincronización macroeconómica entre México y sus socios comerciales del TLCAN. Documento de Trabajo 2003-1, Banco de México.
- Delajara, M. (2012). Sincronización entre los ciclos económicos de México y Estados Unidos: nuevos resultados con base en el análisis de los índices coincidentes regionales de México. Documento de trabajo Num. 2012-01, Banco de México.
- Duval, R., K. Cheng, K. H. Oh, R. Saraf y D. Seneviratne (2014). Trade integration and business cycles synchronization: a reappraisal with focus on Asia. Documento de trabajo WP/14/52, International Monetary Fund.
- Gruben, W., J. Koo y E. Millis (2002). How much does international trade affect business cycle synchronization? Documento de trabajo Núm. 0203, Federal Reserve Bank of Dallas
- Guillen, H. (2013). México: De la sustitución de importaciones al nuevo modelo económico. *Comercio Exterior*, 63(4), pp.34-60.
- Gutiérrez, E. E., P. Mejía y B. Cruz (2005). Ciclos económicos y sector externo en México. Evidencia de relaciones cambiantes en el tiempo. *Estudios Económicos de Desarrollo internacional*, 5(1), pp. 65-92.
- Hodrick, R. J. y E. C. Prescott (1997). Postwar us business cycles: an empirical investigation. *Journal of Money, Credit and Banking*, 29(1), pp. 1-16.
- Ibarra, V. (2013). Lecciones de la globalización. El caso de México: 1986-2008. *Comercio Exterior*, 63(3), pp. 43-56.

- INEGI (2020). Instituto Nacional de Geografía y Estadística. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>. Consultado el 6 de enero de 2021.
- Infante, Z. y O. Delfin (2010). Análisis de la política arancelaria de México del periodo de 1896-2008, como un Instrumento Catalizador del Comercio Exterior. *CIMEXUS*, 5(2), pp. 29-46.
- Kose, M. A., C. Otrok y E. S. Prasad (2008). Global business cycles: convergence or decoupling? Documento de trabajo WP/08/143, International Monetary Fund.
- Kydland, F. y E. Prescott (1990). Business cycles: real facts and monetary myth. *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review*, 14(2), pp. 3-18.
- Loría, E. y E. Salas (2015). Mexico and the United States: cycle synchronization, 1980.1-2013.4. *Ensayos, Revista de Economía*, xxxiv(1), pp. 75-102.
- Lucas, R. E. (1977). Understanding Business Cycles. *Journal Carnegie-Rochester Conference Series in Public Policy*, (5), pp. 7-29.
- Mejía, P. (2002). Ciclos económicos en México. Documento de investigación Núm. 68, El Colegio Mexiquense.
- (2004). Classical business cycles in America: are national business cycles synchronised? *International Journal of Applied Econometrics and Quantitative Studies*, 1(3), pp. 75-102.
- Mejía, P., E. E. Gutiérrez y C. A. Farías (2006a). The Synchronization of the economic cycles of Mexico and the United States. *Investigación Económica*, 65(258), pp. 15-45.
- Mejía, P., E. E. Gutiérrez y A. Pérez (2006b). Los claroscuros de la sincronización internacional de los ciclos económicos: evidencia sobre la manufactura de México. *Ciencia Ergo Sum*, 3(2), pp. 133-142.
- Moreno-Brid, J. C. y J. Ros (2010). *Desarrollo y crecimiento en la economía mexicana. Una perspectiva histórica*, FCE, México.
- Núñez Gomiciaga, A. E., y M. A. Novela Villalobos (1980). Características del crédito otorgado a México por el FMI. *Comercio Exterior*, 30(4), pp. 352-356.
- OCDE (2021). Recuperado de: <https://stats.oecd.org/>
- Reyes, M. I. (2018). Business cycles fluctuations in Latin America before and after the upsurge of China. Documento de trabajo Gettysburg College. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3389386>
- Rodriguez, D., V. Lima y E. Ortiz (2015). ¿Sincronizaron México y Estados Unidos sus ciclos económicos con el TLCAN? *Contaduría y Administración*, (60), pp. 195-229.

- Sadek, A. (2013). Theories of Economic Integration: A Survey of the Economic and Political Literature. *International Journal of Economy, Management and Social Sciences*, 2(5), pp. 133-155.
- Secretaría de Economía (2018). *Comercio Exterior: Países con tratados y acuerdos firmados con México*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/comercio-exterior-paises-con-tratados-y-acuerdos-firmados-con-mexico>
- Soyres, F. y A. Gaillard (2020). Global trade and GDP co-movement. Documento de trabajo 1282, International Finance Discussion Papers.
- Tello, C. (2010). Estancamiento económico, desigualdad y pobreza. *Economía UNAM*, 7(19), pp. 5-44.
- UNCTAD (2015). Evolution of the international trading system and its trends from a development perspective. Documento de trabajo TD/B/62/2, United Nations Conference on Trade and Development.
- Zabludovsky, J. (2005). El TLCAN y la política de comercio exterior en México, una agenda inconclusa. *ICE*, (821), pp. 59-70.

CAPÍTULO 4

EXPORTACIÓN DE MATERIAS PRIMAS, TÉRMINOS DE INTERCAMBIO Y DESARROLLO ECONÓMICO

ENRIQUE RAMÓN CASARES GIL
IVÁN PORRAS CHAPARRO
LUCÍA ATZIMBA RUIZ GALINDO

1. Introducción

La relación entre abundancia de recursos naturales y crecimiento económico es controversial. Algunos estudios empíricos muestran la existencia de una relación inversa entre abundancia de recursos naturales y crecimiento económico, pero otros estudios señalan que no existe dicha relación. En la literatura en donde sí existe una relación inversa, Sachs y Warner (1995) afirman que las economías con abundancia de recursos naturales han crecido menos que las economías con recursos naturales escasos (véase también Sachs y Warner, 2001). Del mismo modo, Gylfason (2001) afirma que el capital natural desplaza al capital humano, desacelerando el desarrollo económico. Por lo anterior, se afirma frecuentemente que los recursos naturales han sido una maldición, en vez de haber sido una bendición. En la literatura en donde no existe relación, Lederman y Maloney (2007) señalan que no encontraron resultados robustos para afirmar que la abundancia de recursos naturales tenga un impacto negativo sobre el crecimiento. Además, Sala-i-Martin, Doppelhofer y Miller (2004) muestran una relación positiva entre la participación de la minería en el PIB y el crecimiento económico. Considerando a los términos de intercambio como un canal de transmisión en la cual los recursos natu-

rales afectan al crecimiento económico en economías exportadoras de materias primas, en este artículo se estudia la relación entre términos de intercambio y crecimiento económico, teórica y empíricamente.

Suponiendo la existencia de la maldición de los recursos naturales, esta puede ser explicada en general por dos clases de mecanismos, unos puramente económicos y otros económicos-institucionales. Respecto a los mecanismos puramente económicos, está la llamada enfermedad holandesa. Así, cuando una economía descubre un gran recurso natural, o su sector de materias primas está en auge, se producirá una apreciación del tipo de cambio real por la gran entrada de divisas y esto conducirá a que el sector manufacturero sea perjudicado y el crecimiento económico también. Otro mecanismo similar es a través de la volatilidad de los términos de intercambio en economías con un gran sector exportador de materias primas, lo cual implicará ingresos volátiles para estas economías, repercutiendo en un crecimiento económico más volátil (manejar ingresos volátiles es macroeconómicamente complicado). Respecto a los mecanismos económicos-institucionales, Sala-i-Martin y Subramanian (2003) muestran que el desarrollo institucional es bajo en los países que poseen recursos naturales no-renovables abundantes. En consecuencia, el pobre crecimiento económico se debe a una baja calidad institucional (ejemplificado con el caso de Nigeria). También, la maldición de los recursos puede actuar a través de la lucha interna por la propiedad de los recursos naturales (véase Caselli, 2006).

Nuestro modelo de crecimiento endógeno está centrado en una explicación puramente económica. En consecuencia, se desarrolla un modelo de crecimiento endógeno con tres sectores para una economía pequeña y abierta. La economía produce tres bienes, una materia-prima, uno manufacturero y otro no-comerciable. La función de producción del sector de materias primas utiliza trabajo y un factor fijo. Si el factor fijo es tierra, este sector sería el sector agrícola. Si otro tipo de materia prima puede ser considerado fijo en términos teóricos o empíricos, el sector sería el minero y petrolero. Parte de la producción de la materia prima es exportada. La función de producción del sector manufacturero utiliza capital-manufactura específico y trabajo. El bien manufacturero puede ser importado. Se supone que el sector manufacturero produce conocimiento tecnológico

doméstico por medio de un aprendizaje por la práctica (Romer, 1986). Como el conocimiento es un bien público, el conocimiento tecnológico es utilizado en el sector de materias primas y en el sector no-comerciable. Por lo tanto, en el modelo hay tres externalidades de conocimiento. Además, la función de producción del sector no-comerciable utiliza capital-no-comerciable específico y trabajo.

Como fue señalado, el sector de materias primas tiene un factor fijo, tierra o reservas inagotables (económicamente hablando). Así, Stuermer y Schwerhoff (2017) afirman que si la inversión tecnológica avanza en desarrollar ideas más innovadoras en la extracción y descubrimiento de recursos naturales, esto irá provocando que los depósitos, sobre todo de minerales, sean reservas inagotables (económicamente hablando) y se conviertan en factores fijos. Los autores validan sus afirmaciones con datos de largo plazo. Aunque en este trabajo no modelamos la creación de ideas innovadoras en los recursos naturales, consideramos una amplia definición del factor fijo, que incluye recursos renovables y no-renovables, pero no agotables. Esto con el fin de que la parte empírica sea más congruente con el modelo teórico.

El modelo está relacionado con los modelos de dos sectores con externalidades de aprendizaje (Succar, 1987; Young, 1991) y con los modelos de crecimiento endógeno con dos sectores. Lucas (1988) presentó el primer modelo de crecimiento endógeno con dos sectores, con capital físico y humano. Si identificamos el capital físico con el capital manufacturero y el capital humano con el capital no-comerciable, nuestro modelo es un caso especial de los modelos de crecimiento endógeno de dos sectores, donde cada capital está inmóvil entre los sectores (véase Turnovsky, 2009).

En este modelo, se muestra, en el estado estacionario, que cuando los términos de intercambio aumentan, es decir, cuando el precio relativo del bien materia-prima aumenta, el salario en el sector de materias primas momentáneamente es mayor que el salario en los otros sectores. Así, el trabajo fluye al sector de materias primas. En consecuencia, la proporción de trabajo empleado en el sector de materias primas aumenta. Como la proporción de trabajo empleado en el sector manufacturero se mantiene constante, el trabajo ganado por el sector de materias primas es perdido por el sector no-comerciable. Por lo tanto, la proporción de trabajo empleado en

el sector no-comerciable disminuye. Esto conducirá a que nuevamente se igualen los salarios entre los sectores. También, el rendimiento del capital-no-comerciable disminuye momentáneamente. Así, se estimula entonces la acumulación de capital en el sector manufacturero y se desestimula en el sector no-comerciable. Por lo anterior, la relación capital-no-comerciable a capital-manufactura disminuye a su nuevo estado estacionario, en donde los rendimientos nuevamente se igualan.

Además, se muestra que el precio relativo del bien no-comerciable se mantiene en su mismo nivel en el nuevo estado estacionario. Finalmente, dado que el capital-manufactura aumenta relativamente sin pérdida de trabajo, el sector manufacturero es beneficiado. Por tanto, como el sector líder en tecnología es beneficiado, la tasa de crecimiento de la economía aumenta. Por tanto, se tiene una relación positiva entre términos de intercambio y crecimiento económico. Sin embargo, es importante señalar que el motor de crecimiento de largo plazo es el progreso técnico, los términos de intercambio lo pueden ayudar o dañar. Como señala Frankel (2010), la abundancia de recursos naturales no equivale a fracaso, pues todo depende de las políticas a seguir, como fondos de materias primas transparentes, reglas fiscales y monetarias apropiadas para manejar los ingresos provenientes de los recursos naturales.

Se presenta evidencia empírica para averiguar la existencia de una relación estable de largo plazo entre los términos de intercambio y el crecimiento económico para ciertas economías latinoamericanas. Así, para Brasil y Perú los términos de intercambio y el crecimiento económico están cointegrados (los dos países son grandes exportadores de materias primas). Por tanto, como el progreso técnico es el motor del crecimiento económico, los términos de intercambio pueden ayudar o perjudicar al crecimiento económico de Brasil y Perú. Para el caso de México no es posible efectuar este análisis ya que sus variables en log-niveles son integradas de diferente orden y en consecuencia no se puede establecer una relación de largo plazo entre ellas (México es un gran exportador de manufacturas).

El artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se desarrolla un modelo de crecimiento endógeno de una pequeña economía abierta y se presenta el modelo en variables estacionarias. En la

sección 3 se estudia la respuesta de la economía a un aumento en los términos de intercambio. En la sección 4 se presentan los resultados de cointegración entre términos de intercambio y crecimiento. En la sección 5 se presentan las conclusiones.

2. El modelo de crecimiento endógeno

En el modelo existen tres sectores productivos, materias primas, manufacturero y no-comerciable. Así, el bien materia-prima es producido, consumido y exportado. El bien manufacturero es producido, consumido, acumulado e importado. El bien no-comerciable es producido, consumido y acumulado. La economía es pequeña y abierta. Así, los precios del bien materia-prima, del bien manufacturero, y la tasa de interés, están dados por el mercado mundial. Se considera que el sector manufacturero es el único que produce progreso técnico doméstico por medio de un aprendizaje por la práctica (*learning by doing*, Arrow, 1962). El conocimiento se desborda al sector de materias primas y al sector no-comerciable. Los hogares ahorran una fracción constante de su ingreso disponible. Los hogares están sujetos a una restricción de crédito externo, en donde solamente una fracción constante y exógena del capital-manufactura sirve como garantía para préstamos en el mercado mundial. Hay libre movilidad del trabajo entre los tres sectores.

2.1. El sector de materias primas

La empresa representativa en el sector de materias primas es perfectamente competitiva. La función de producción de la empresa representativa es:

$$Y_A = A_A F^\alpha L_A^{1-\alpha} [K_M] \quad (1)$$

donde Y_A es la producción en el sector de materias primas, A_A es un parámetro de eficiencia ($A_A > 0$), F es un factor fijo, L_A es el trabajo empleado en el sector de materias primas, α es la participación de F en la produc-

ción y $(1 - \alpha)$ es la participación de L_A en la producción ($0 < \alpha < 1$). El conocimiento tecnológico doméstico es creado solamente en el sector manufacturero por medio de un aprendizaje por la práctica. Así, el conocimiento depende únicamente del capital acumulado en el sector manufacturero, K_M . Dado que el conocimiento es un bien público, el conocimiento se desborda y es utilizado en el sector de materias primas. Por tanto, $[K_M]$ es el efecto externo de K_M en la función de producción del sector de materias primas. Para generar crecimiento endógeno y balanceado el exponente de K_M en la externalidad es uno.

Se define a P_A como el precio mundial constante del bien materia-prima y a P_M como el precio mundial constante del bien manufacturero. Se considera a P_M como el numerario ($P_M = 1$). Así, el precio relativo del bien materia-prima en términos del bien manufacturero, o términos de intercambio, está definido como $p_A = P_A/P_M$. Los beneficios de la empresa representativa son $\pi_A = p_A A_A F^\alpha L_A^{1-\alpha} [K_M] - w_A L_A - R_F F$, donde w_A es el salario en el sector de materias primas y R_F es el precio de renta del factor fijo. La empresa representativa maximiza los beneficios tomando como dada la externalidad. Las condiciones marginales son:

$$w_A = p_A A_A F^\alpha (1 - \alpha) L_A^{-\alpha} [K_M] \quad (2)$$

$$R_F = p_A A_A \alpha F^{\alpha-1} L_A^{1-\alpha} [K_M] \quad (3)$$

la ecuación (2) dice que w_A es igual al valor del producto marginal de L_A . La ecuación (3) expresa que la renta real, R_F/p_A , es igual al producto marginal de F .

2.2. El sector manufacturero

La empresa representativa en el sector manufacturero también es perfectamente competitiva y su función de producción es:

$$Y_M = A_M K_M^\beta L_M^{1-\beta} [K_M^{1-\beta}] \quad (4)$$

donde Y_M es la producción en el sector manufacturero, A_M es un parámetro de productividad ($A_M > 0$), K_M es el capital físico acumulado con el bien manufacturero, L_M es el trabajo empleado en el sector, β y $(1 - \beta)$

son las participaciones de K_M y L_M en la producción, respectivamente ($0 < \beta < 1$). Como ya fue mencionado, el conocimiento tecnológico doméstico es generado únicamente en este sector y depende de K_M . Por tanto, $[K_M^{1-\beta}]$ es la externalidad en el sector manufacturero. Para generar crecimiento endógeno y balanceado, se supone que el exponente de K_M en la externalidad es $(1 - \beta)$. En consecuencia, la función de producción del sector manufacturero tiene rendimientos constantes en el capital ampliamente medido. Se supone que K_M es usado únicamente en el sector.

Se define a r^w como la tasa constante de interés mundial. Se considera que la tasa de depreciación de K_M es cero. Suponiendo una paridad de rendimientos en los capitales físicos, se tiene que el precio de renta de K_M es $R_M = r^w$. Los beneficios de la empresa son $\pi_M = A_M K_M^\beta L_M^{1-\beta} [K_M^{1-\beta}] - w_M L_M - R_M K_M$, donde w_M es el salario en el sector de manufactura. La empresa representativa maximiza los beneficios considerando la externalidad como dada. Las condiciones de primer orden son:

$$w_M = A_M K_M^\beta (1 - \beta) L_M^{-\beta} [K_M^{1-\beta}] \quad (5)$$

$$R_M = r^w = A_M \beta K_M^{\beta-1} L_M^{1-\beta} [K_M^{1-\beta}] \quad (6)$$

la ecuación (5) establece que w_M es igual al producto marginal de L_M . La ecuación (6) expresa que R_M es igual al producto marginal de K_M .

2.3. El sector no-comerciable

Con respecto al sector no-comerciable, la empresa representativa es perfectamente competitiva y su función de producción es:

$$Y_N = A_N K_N^\gamma L_N^{1-\gamma} [K_M^{1-\gamma}] \quad (7)$$

donde Y_N es la producción del bien no-comerciable, A_N es un parámetro de eficiencia ($A_N > 0$), K_N es el acervo de capital físico acumulado con el bien no-comerciable, L_N es el trabajo empleado en el sector, γ y $(1 - \gamma)$ son las participaciones de K_N y L_N en la producción, respectivamente ($0 < \gamma < 1$). Como existe un efecto desbordamiento del conocimiento

entre los sectores, $[K_M^{1-\gamma}]$ es la contribución del conocimiento tecnológico doméstico (generado en el sector manufacturero) en la producción del bien no-comercializable. Para generar crecimiento endógeno y balanceado, se supone que el exponente de K_M en la externalidad es $(1 - \gamma)$. De esta manera, la función de producción tiene rendimientos constantes en el capital ampliamente medido. El acervo de K_N es usado únicamente en el sector no-comercializable.

Se define p_N como el precio relativo del bien no-comercializable en términos del bien manufacturero, $p_N = P_N/P_M$ donde P_N es el precio del bien no-comercializable. Considerando que la tasa de depreciación de K_N es cero, el precio de renta de K_N es $R_N = p_N(r^w - \dot{p}_N/p_N)$, como $\dot{p}_N = dp_N/dt$, $\dot{p}_N/p_N$, es la tasa de crecimiento de p_N o las ganancias de capital de K_N . Los beneficios de la empresa son $\pi_N = p_N A_N K_N^\gamma L_N^{1-\gamma} [K_M^{1-\gamma}] - w_N L_N - R_N K_N$, donde w_N es el salario en el sector no-comercializable. Las empresas no-comerciables maximizan beneficios tomando la externalidad como dada. Las condiciones marginales son:

$$w_N = p_N A_N K_N^\gamma (1 - \gamma) L_N^{-\gamma} [K_M^{1-\gamma}] \quad (8)$$

$$R_N = p_N(r^w - \dot{p}_N/p_N) = p_N A_N \gamma K_N^{\gamma-1} L_N^{1-\gamma} [K_M^{1-\gamma}] \quad (9)$$

La ecuación (8) dice que w_N es igual al valor del producto marginal de L_N . La ecuación (9) es la condición de equilibrio dinámica para K_N . Así, la ecuación dice que r^w es igual al producto marginal de K_N más las ganancias de capital.

2.4. Los hogares

Se supone que el hogar representativo posee F , K_M y K_N . Además, parte de K_M se financia en el mercado mundial. La restricción presupuestal del hogar representativo es:

$$\begin{aligned} & w_A L_A + w_M L_M + w_N L_N + R_F F + R_M K_M + R_N K_N - r^w D \\ &= p_A C_A + C_M + p_N C_N + I_M + p_N I_N - \dot{D} \end{aligned} \quad (10)$$

donde $w_A L_A + w_M L_M + w_N L_N$ es el ingreso salarial, $R_F F$ es el ingreso por la renta del factor fijo, $R_M K_M + R_N K_N$ es el ingreso por la renta de los capitales físicos, D es la deuda externa y $r^w D$ es el pago de intereses sobre la deuda externa. En consecuencia, el lado izquierdo de la ecuación (10) es el ingreso disponible del hogar representativo. Asimismo, $p_A C_A$ es el consumo en el bien materia-prima, C_M es el consumo en el bien manufacturero, $p_N C_N$ es el consumo en el bien no-comercial, $I_M = \dot{K}_M$ es la inversión neta en K_M y $\dot{D}$ es el incremento de la deuda externa en el tiempo o ahorro externo.

En este artículo se supone que solamente una fracción constante, ε , del capital en el sector manufacturero sirve como garantía (colateral) para préstamos en el mercado mundial, es decir, $D = \varepsilon K_M$, en donde $0 < \varepsilon < 1$. Por lo tanto, $D = \varepsilon K_M$ es una restricción al crédito externo. Este tipo de restricción de préstamo implica que los residentes domésticos poseen todo el acervo de K_M y los residentes externos poseen la deuda sobre K_M (véase Barro, Mankiw y Sala-i-Martin, 1995).

Por simplicidad, y una limitante, se supone que los hogares ahorran una fracción constante de su ingreso disponible (no hay elección intertemporal). El ahorro de los hogares, S_H , es:

$$S_H = s(w_A L_A + w_M L_M + w_N L_N + R_F F + R_M K_M + R_N K_N - r^w D) \quad (11)$$

donde s es la tasa de ahorro que es una fracción constante y exógena ($0 < s < 1$).

2.5. Mercados

Para obtener la igualdad agregada ahorro-inversión, se sustituye w_A , w_M , w_N , R_F , R_M y R_N , ecuaciones (2), (3), (5), (6), (8) y (9), en el ingreso disponible del hogar representativo, lado izquierdo de la ecuación (10), obteniéndose:

$$p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N - r^w D = p_A C_A + C_M + p_N C_N + I_M + p_N I_N - \dot{D} \quad (12)$$

donde $p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N - r^w D$ es el ingreso nacional. Así, el ingreso disponible del hogar representativo también es igual al ingreso nacional. Por lo tanto, el ahorro de los hogares, ecuación (11), es:

$$S_H = s(p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N - r^w D) \quad (13)$$

Reordenado la ecuación (12), se obtiene la condición agregada de ahorro es igual a inversión:

$$(p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N - r^w D) - (p_A C_A + C_M + p_N C_N) + \dot{D} = I_M + p_N I_N \quad (14)$$

donde $(p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N - r^w D) - (p_A C_A + C_M + p_N C_N) = S_H$. Es decir, S_H también es el ahorro doméstico. Utilizando lo anterior y la ecuación (13) con (14), se obtiene la igualdad agregada ahorro-inversión:

$$s(p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N - r^w D) + \dot{D} = I_M + p_N I_N \quad (15)$$

la ecuación (15) establece que el ahorro doméstico más el ahorro externo, $\dot{D}$, es igual a la inversión neta en K_M y K_N .

Para obtener la restricción agregada de recursos de la economía, primero se establece que la cuenta corriente deficitaria de la economía es:

$$\dot{D} = r^w D - (X - M) \quad (16)$$

donde X son las exportaciones del bien materia-prima, M son las importaciones del bien manufacturero y $(X - M)$ es el saldo comercial. Ahora, substituyendo la ecuación (16) en la ecuación (12), se obtiene la restricción agregada de recursos de la economía:

$$p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N = p_A C_A + C_M + p_N C_N + I_M + p_N I_N + (X - M) \quad (17)$$

Dado que el precio relativo del bien no-comerciable es flexible, la oferta del bien no-comerciable siempre es igual a la demanda. Por tanto, la condición de equilibrio para el mercado del bien no-comerciable es:

$$p_N Y_N = p_N C_N + p_N I_N \quad (18)$$

Lo cual implica que la condición de equilibrio en el mercado del bien materia-prima es $p_A Y_A = p_A C_A + X$ y la condición de equilibrio en el mercado del bien manufacturero es $Y_M + M = C_M + I_M$. Respecto al mercado laboral, se supone que la oferta total de trabajo, L , es constante. La condición de equilibrio en el mercado laboral es $L = L_A + L_M + L_N$.

2.6. El modelo en variables estacionarias

Dado que las variables K_M y K_N crecerán permanentemente a una tasa común, es necesario definir las variables del modelo como variables estacionarias, es decir, variables que sean constantes en el estado estacionario. Así, se define a $z = K_N/K_M$ como una variable estacionaria. Además, como L es constante, se normaliza a uno ($L = 1$). De este modo, la condición de equilibrio en el mercado laboral es $l_A + l_M + l_N = 1$, en donde l_A es la fracción del trabajo empleado en el sector de materias primas, l_M es la fracción del trabajo empleado en el sector manufacturero y l_N es la fracción del trabajo empleado en el sector no-comerciable. Como l_A , l_M y l_N son constantes en el estado estacionario, las variables l_A , l_M y l_N serán también variables estacionarias. Asimismo, como el precio relativo del bien no-comerciable debe ser constante en el estado estacionario, p_N es otra variable estacionaria. A continuación, se reformula el modelo en variables estacionarias.

Considerando la externalidad $[K_M]$, la función de producción del sector de materias primas y las condiciones marginales en variables estacionarias son:

$$Y_A = A_A K_M F^\alpha l_A^{1-\alpha} \quad (19)$$

$$w_A = p_A A_A K_M F^\alpha (1 - \alpha) l_A^{-\alpha} \quad (20)$$

$$R_F = p_A A_A K_M \alpha F^{\alpha-1} l_A^{1-\alpha} \quad (21)$$

También, considerando la externalidad $[K_M^{1-\beta}]$, la función de producción del sector manufacturero y las condiciones de primer orden en variables estacionarias son:

$$Y_M = A_M K_M l_M^{1-\beta} \quad (22)$$

$$w_M = A_M K_M (1 - \beta) l_M^{-\beta} \quad (23)$$

$$r^w = A_M \beta l_M^{1-\beta} \quad (24)$$

Tomando en cuenta la externalidad $[K_M^{1-\gamma}]$, la función de producción del sector no-comerciable y las condiciones marginales para el sector no-comerciable en variables estacionarias son:

$$Y_N = A_N K_M z^\gamma l_N^{1-\gamma} \quad (25)$$

$$w_N = p_N A_N K_M z^\gamma (1 - \gamma) l_N^{-\gamma} \quad (26)$$

$$r^w - \dot{p}_N / p_N = A_N \gamma z^{\gamma-1} l_N^{1-\gamma} \quad (27)$$

Considerando que $w_A = w_M = w_N$, la condición de eficiencia de asignación del trabajo entre los tres sectores es:

$$p_A A_A F^\alpha (1 - \alpha) l_A^{-\alpha} = A_M (1 - \beta) l_M^{-\beta} = p_N A_N z^\gamma (1 - \gamma) l_N^{-\gamma} \quad (28)$$

Esta condición dice que el valor del producto marginal del trabajo en los tres sectores debe ser igual en todo tiempo. A continuación, se obtiene la tasa de crecimiento de K_M en variables estacionarias. Sustituyendo $l_M = \dot{K}_M$, $l_N = \dot{K}_N$ y $\dot{D} = \varepsilon \dot{K}_M$ en la ecuación (15), se obtiene:

$$s(p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N - r^w D) + \varepsilon \dot{K}_M = \dot{K}_M + p_N \dot{K}_N \quad (29)$$

Dividiendo por K_M la ecuación (29), se tiene:

$$\frac{s(p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N - r^w D)}{K_M} + \frac{\varepsilon \dot{K}_M}{K_M} = \frac{\dot{K}_M}{K_M} + p_N z \frac{\dot{K}_N}{K_N} \quad (30)$$

Ahora, se determina $\dot{K}_N/K_N$ en función de $\dot{K}_M/K_M$. Tomando logaritmos y derivadas respecto al tiempo de $z = K_N/K_M$, se obtiene:

$$\frac{\dot{z}}{z} = \frac{\dot{K}_N}{K_N} - \frac{\dot{K}_M}{K_M} \quad (31)$$

Con la segunda igualdad de la condición de eficiencia de asignación del trabajo, $A_M(1 - \beta)l_M^{-\beta} = p_N A_N z^\gamma (1 - \gamma)l_N^{-\gamma}$, se obtiene el nivel de p_N para todo tiempo:

$$p_N = \frac{A_M(1 - \beta)l_N^\gamma}{A_N z^\gamma (1 - \gamma)l_M^\beta} \quad (32)$$

Como será evidente más adelante, l_A , l_M y l_N siempre se encuentran en un estado estacionario y son constantes. Por lo tanto, tomando logaritmos y derivadas respecto al tiempo de la ecuación (32), se tiene:

$$\frac{\dot{z}}{z} = -\frac{1}{\gamma} \frac{\dot{p}_N}{p_N} \quad (33)$$

Iguando las ecuaciones (31) y (33), se obtiene:

$$\frac{\dot{K}_N}{K_N} = \frac{\dot{K}_M}{K_M} - \frac{1}{\gamma} \frac{\dot{p}_N}{p_N} \quad (34)$$

Sustituyendo la ecuación (34) en la ecuación (30), se obtiene:

$$\frac{s(p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N - r^w D)}{K_M} + \frac{\varepsilon \dot{K}_M}{K_M} = \frac{\dot{K}_M}{K_M} + p_N z \left[\frac{\dot{K}_M}{K_M} - \frac{1}{\gamma} \frac{\dot{p}_N}{p_N} \right] \quad (35)$$

Finalmente, sustituyendo las funciones de producción, ecuaciones (19), (22) y (25), y $D = \varepsilon K_M$ en la ecuación (35), y despejando $\dot{K}_M/K_M$, se obtiene la tasa de crecimiento de K_M en variables estacionarias:

$$\frac{\dot{K}_M}{K_M} = \left[\frac{1}{(1 - \varepsilon) + p_{NZ}} \right] \left[s(p_A A_A F^\alpha l_A^{1-\alpha} + A_M l_M^{1-\beta} + p_N A_N z^\gamma l_N^{1-\gamma} - r^w \varepsilon) + \frac{p_{NZ} \dot{p}_N}{\gamma p_N} \right] \quad (36)$$

en donde $\dot{K}_M/K_M$ es la tasa de crecimiento de K_M . La tasa de crecimiento de p_N esta dada por la ecuación (27). Del mismo modo, se obtiene la tasa de crecimiento de K_N en variables estacionarias. Dividiendo por K_N la ecuación (29), utilizando $\dot{K}_M/K_M$ de la ecuación (34), usando las funciones de producción, (19), (22) y (25), y $D = \varepsilon K_M$, se tiene:

$$\frac{\dot{K}_N}{K_N} = \left[\frac{1}{(1 - \varepsilon) + p_{NZ}} \right] \left[s(p_A A_A F^\alpha l_A^{1-\alpha} + A_M l_M^{1-\beta} + p_N A_N z^\gamma l_N^{1-\gamma} - r^w \varepsilon) - \frac{(1 - \varepsilon) \dot{p}_N}{\gamma p_N} \right] \quad (37)$$

en donde $\dot{K}_N/K_N$ es la tasa de crecimiento de K_N . Como l_A , l_M y l_N siempre se encuentran en un estado estacionario y son constantes, es posible mostrar que la tasa de crecimiento del ingreso nacional, $Y = p_A Y_A + Y_M + p_N Y_N - r^w D$, es:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{p_A Y_A}{Y} \left(\frac{\dot{K}_M}{K_M} \right) + \frac{Y_M}{Y} \left(\frac{\dot{K}_M}{K_M} \right) + \frac{p_N Y_N}{Y} \left(\frac{\dot{K}_M}{K_M} + \gamma \frac{\dot{z}}{z} + \frac{\dot{p}_N}{p_N} \right) - \frac{r^w D}{Y} \left(\frac{\dot{K}_M}{K_M} \right) \quad (38)$$

donde $p_A Y_A / Y = p_A A_A F^\alpha l_A^{1-\alpha} / (p_A A_A F^\alpha l_A^{1-\alpha} + A_M l_M^{1-\beta} + p_N A_N z^\gamma l_N^{1-\gamma} - r^w \varepsilon)$ es la participación de $p_A Y_A$ en el ingreso nacional, $Y_M / Y = A_M l_M^{1-\beta} / (p_A A_A F^\alpha l_A^{1-\alpha} + A_M l_M^{1-\beta} + p_N A_N z^\gamma l_N^{1-\gamma} - r^w \varepsilon)$ es la participación de Y_M en el ingreso nacional, $p_N Y_N / Y = p_N A_N z^\gamma l_N^{1-\gamma} / (p_A A_A F^\alpha l_A^{1-\alpha} + A_M l_M^{1-\beta} + p_N A_N z^\gamma l_N^{1-\gamma} - r^w \varepsilon)$ es la participación de $p_N Y_N$ en el ingreso nacional y $r^w D / Y = r^w \varepsilon / (p_A A_A F^\alpha l_A^{1-\alpha} + A_M l_M^{1-\beta} + p_N A_N z^\gamma l_N^{1-\gamma} - r^w \varepsilon)$ es la participación de $r^w D$ en el ingreso nacional.

2.7. El estado estacionario

Ahora se obtienen los niveles de todas las variables estacionarias en el estado estacionario. Por medio de la igualdad tasa de interés mundial igual a la productividad marginal de K_M , ecuación (24), se obtiene el nivel de l_M de estado estacionario:

$$l_M^* = \left[\frac{r^w}{A_M \beta} \right]^{\frac{1}{1-\beta}} \quad (39)$$

como r^w , A_M y β son constantes, el nivel de l_M^* es constante en el estado estacionario (los niveles de estado estacionario se denotan con un *). Como fue mencionado anteriormente, l_M^* siempre está en un estado estacionario, es decir, cuando la economía sufre una perturbación exógena, el nivel de l_M^* se situará inmediatamente en un nuevo nivel de estado estacionario. Con la primera igualdad de la condición de eficiencia de asignación del trabajo, ecuación (28), $p_A A_A F^\alpha (1 - \alpha) l_A^{-\alpha} = A_M (1 - \beta) l_M^{-\beta}$, se obtiene el nivel de l_A de estado estacionario:

$$l_A^* = \left[\frac{p_A A_A F^\alpha (1 - \alpha) l_M^{*\beta}}{A_M (1 - \beta)} \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (40)$$

dado que P_A , A_A , A_M , F , a , β y l_M^* son constantes, el nivel de l_A^* es constante y siempre se encuentra en un estado estacionario. Nuevamente, si la economía sufre una perturbación exógena, el nivel de l_A^* se situará inmediatamente en un nuevo estado estacionario. El nivel de l_N^* se obtiene residualmente por medio de la condición de equilibrio del mercado laboral:

$$l_N^* = 1 - l_A^* - l_M^* \quad (41)$$

entonces, l_N^* siempre está en un estado estacionario. Con la ecuación (27), y considerando que $\dot{p}_N = 0$ en el estado estacionario, se obtiene el nivel de z de estado estacionario:

$$z^* = \left[\frac{A_N \gamma l_N^{*(1-\gamma)}}{r^w} \right]^{\frac{1}{1-\gamma}} \quad (42)$$

Por medio de la ecuación (32), que proviene de la segunda igualdad de la condición de eficiencia de asignación del trabajo, se obtiene:

$$p_N^* = \frac{A_M(1 - \beta)l_N^{*\gamma}}{A_N z^{*\gamma}(1 - \gamma)l_M^{*\beta}} \quad (43)$$

Dado que se han determinado los niveles de l_M^* , l_A^* , l_N^* , z^* y p_N^* , se ha encontrado la solución de estado estacionario para las variables estacionarias. Ahora se deduce la tasa de crecimiento de la economía en el estado estacionario. Como en el estado estacionario $\dot{p}_N = 0$, la tasa de crecimiento de K_M de estado estacionario, ecuación (36), es igual a la tasa de crecimiento de K_N de estado estacionario, ecuación (37). Del mismo modo, como en el estado estacionario $\dot{z} = 0$ y $\dot{p}_N = 0$, la tasa de crecimiento del ingreso nacional, ecuación (38), es igual a la tasa de crecimiento de K_M y K_N de estado estacionario. Por lo tanto, la tasa de crecimiento de estado estacionario de la economía, g^* , es:

$$g^* = \left[\frac{1}{(1 - \varepsilon) + p_N^* z^*} \right] \left[s \left(p_A A_A F^\alpha l_A^{*(1-\alpha)} + A_M l_M^{*(1-\beta)} + p_N^* A_N z^{*\gamma} l_N^{*(1-\gamma)} - r^w \varepsilon \right) \right] \quad (44)$$

Así pues, se ha comprobado analíticamente la existencia del estado estacionario.

Perturbaciones en los términos de intercambio

Ahora, la economía enfrenta un aumento en los términos de intercambio, es decir, un aumento en p_A . Por medio de la ecuación (39), se observa que l_M^* no depende de p_A , es decir, $\partial l_M^* / \partial p_A = 0$. Por lo tanto, un aumento en los términos de intercambio no afecta la proporción del trabajo empleado en el sector manufacturero. También, utilizando la ecuación (40), y considerando que l_M^* se mantiene constante, se tiene que $\partial l_A^* / \partial p_A > 0$. Por medio de la ecuación (41), y considerando que l_M^* se mantiene constante, se observa que un aumento en l_A^* debe ir acompañado con un decremento

en l_N^* , es decir $\partial l_N^* / \partial p_A < 0$. Así, cuando los términos de intercambio aumentan, el salario en el sector de materias primas (valor del producto marginal del trabajo en el sector) es momentáneamente mayor que el salario en los otros sectores. Por lo tanto, el trabajo fluye instantáneamente al sector de materias primas y la proporción de trabajo empleado en el sector de materias primas aumenta. Como l_M^* es constante, el trabajo ganado por el sector de materias primas es perdido por el sector no-comerciable. En consecuencia, la proporción de trabajo empleado en el sector no-comerciable disminuye. Después de estos movimientos instantáneos, nuevamente se igualan los salarios entre los sectores.

Usando la ecuación (42), válida en el estado estacionario, se tiene que $\partial z^* / \partial p_A < 0$. Es decir, dada la pérdida de trabajo en el sector no-comerciable, el rendimiento de K_N disminuye momentáneamente (véase ecuación 27, con $\dot{p}_N = 0$). Así, se estimula la acumulación de K_M y se desestimula la acumulación de K_N . Por lo anterior, el nivel z^* disminuye a un nuevo estado estacionario y los rendimientos nuevamente se igualarán. Sustituyendo z^* , ecuación (42), en la ecuación (43), se obtiene:

$$p_N^* = \frac{A_M(1 - \beta)}{A_N \left(\frac{A_N \gamma}{r^w} \right) (1 - \gamma) l_M^{*\beta}}$$

Se observa que el nivel de p_N^* no depende de los términos de intercambio en el estado estacionario, es decir $\partial p_N^* / \partial p_A = 0$. Así, cuando los términos de intercambio aumentan, el sector manufacturero, líder tecnológico, no pierde trabajo y K_M aumenta con respecto a K_N . Por tanto, el sector manufactura es beneficiado. Finalmente, como el sector líder en tecnología es beneficiado, la tasa de crecimiento de la economía, ecuación (44), aumenta (resultado numérico, mostrado abajo).

Se muestra una simulación numérica para ilustrar cómo la economía pasa de un estado estacionario a otro. Los niveles de los parámetros son $p_A = 1$, $A_A = 0.25$, $A_M = 0.25$, $A_N = 0.25$, $\alpha = 0.2$, $\beta = 0.4$, $\gamma = 0.3$, $F = 1$, $r^w = 0.04$, $s = 0.18$ y $\varepsilon = 0.5$. Estos niveles son solo para propósitos ilustrativos. El resultado numérico es $l_M^* = 0.2171$, $l_A^* = 0.1987$, $l_N^* = 0.5841$, $z^* = 1.4338$, $p_N^* = 1.2059$ y $g^* = 0.0306$. Además, para mostrar que se cumple la condición de eficiencia de asignación del trabajo entre los sectores,

ecuación (28), el lado extremo izquierdo de la condición se le resta el lado extremo derecho de la condición, $p_A A_A F^\alpha (1 - \alpha) l_A^{*(-\alpha)} - p_N^* A_N z^* \gamma (1 - \gamma) l_N^{*(-\gamma)}$, obteniéndose cero. Cuando los términos de intercambio aumentan de $p_A = 1$ a $p_A = 1.2$, el resultado numérico es $l_M^* = 0.2171$, $l_A^* = 0.4944$, $l_N^* = 0.2883$, $z^* = 0.7079$, $p_N^* = 1.2059$ y $g^* = 0.0484$. Como se observa, la proporción de trabajo empleado en el sector de materias primas aumenta del 19.87 % al 49.44 % del trabajo total, la proporción de trabajo empleado en el sector manufacturero se mantiene en 21.71 % del trabajo total y la proporción de trabajo empleado en el sector no-manufacturero disminuye del 58.41 % al 28.83 % del trabajo total. El nivel de z^* disminuye del 1.4338 al 0.7079, mientras que p_N se mantiene constante en 1.2059. La tasa de crecimiento de la economía aumenta del 3.06 % al 4.84 % anual. Así, el modelo predice una relación positiva entre términos de intercambio y crecimiento económico. Sin embargo, el motor de crecimiento de largo plazo es el progreso técnico, los términos de intercambio lo pueden beneficiar o lastimar.

Análisis de cointegración

En esta sección se presenta evidencia empírica para averiguar la existencia de una relación estable o de largo plazo entre términos de intercambio y crecimiento económico para Brasil, México y Perú. De manera más precisa, se estudia si esas variables son cointegradas, en cuyo caso tendrían una tendencia común en el largo plazo, es decir, un comportamiento sincrónico, aun cuando no sean estacionarias. La cointegración establece que, si se tienen variables no estacionarias, pero integradas del mismo orden, y existe al menos una combinación lineal de ellas, que sí lo es, entonces las variables no estacionarias son cointegradas.

El primer paso para establecer si las variables están cointegradas es saber si cada una en niveles es estacionaria, y en caso de que no lo sean, se transforma mediante una diferencia y se analiza su estacionariedad, si esa transformación es estacionaria entonces la variable en niveles se dice que es integrada de orden uno o bien, simplemente, se escribe $I(1)$. El segundo paso consiste en averiguar si las variables que tienen el mismo orden de

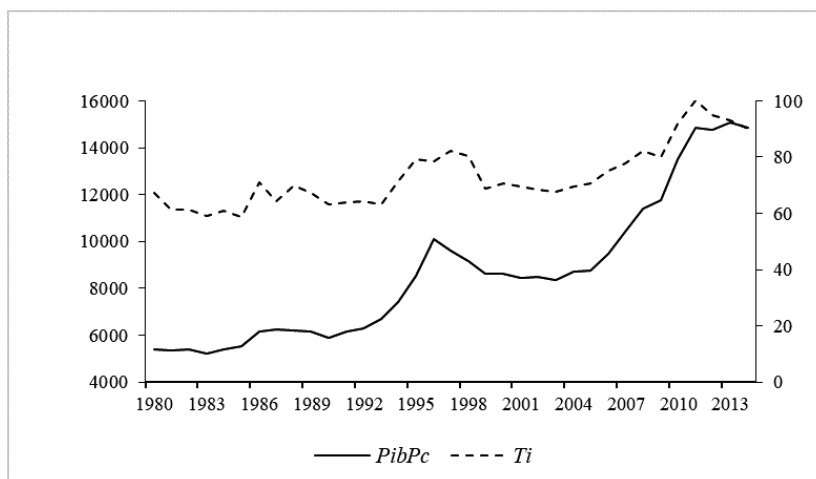
integración son cointegradas o no. Aquí se estudia la cointegración entre dos variables: el crecimiento económico per cápita y el de los términos de intercambio, para Brasil, México y Perú.

Variables y su dinámica

El análisis empírico se realiza para Brasil, México y Perú, de manera que se pueda analizar la dinámica de largo plazo de economías con un alto grado de intercambio comercial de materias primas (Brasil y Perú), aunque México ha disminuido gradualmente su dependencia de las exportaciones de materias primas, también se estudia. Se utiliza información anual de 1980 a 2014 con base 2011 del producto interno bruto per cápita (*PibPc*) (Feenstra, Inklaar y Timmer, 2015, datos disponibles en Penn World Tables), y de los términos del intercambio (*Ti*) (CEPAL, 2017).

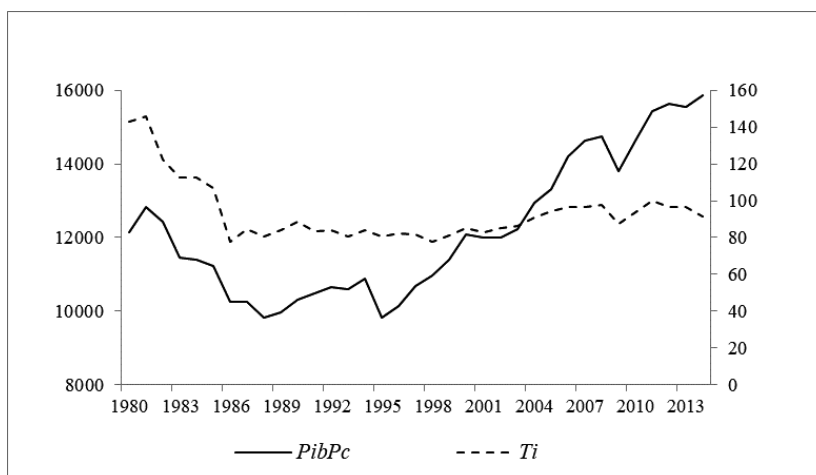
Las gráficas 1, 2 y 3 presentan el comportamiento de cada una de esas variables para los diferentes países. En ellas se puede observar que durante el periodo de análisis todas las variables, a excepción quizá de los términos de intercambio de México, que muestra poco dinamismo a partir de 1986, tienen tendencia y algo de variabilidad. Además, y pese a la dinámica un tanto errática de los términos de intercambio, ellos muestran un comportamiento acompasado con el *PibPc* en Brasil y Perú, pero no en México, pues mientras el *PibPc* de este país crece de 1988 a 2008, los términos de intercambios exhiben muy poco dinamismo en ese mismo periodo (Gráfica 2).

Gráfica 1
PIB per cápita y términos de intercambio de Brasil



Fuente: Elaboración propia.

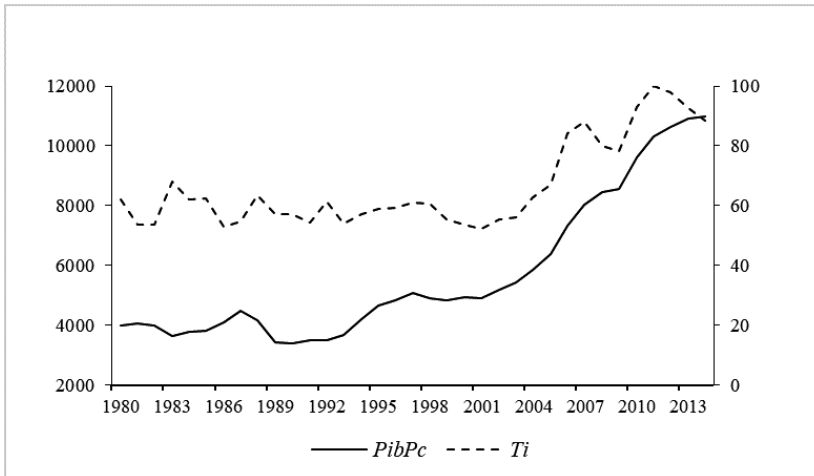
Gráfica 2
PIB per cápita y términos de intercambio de México



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3

PIB pér-capita y términos de intercambio de Perú



Fuente: Elaboración propia.

Durante el periodo de estudio, México tuvo la más baja tasa de crecimiento económico promedio anual en términos per cápita, se ubicó en 0.81 %, mientras que Brasil y Perú, ambos crecieron a una tasa promedio per cápita del 3.11 %. Por su parte, los términos de intercambio para México decrecieron de 1980 a 2014, a una tasa promedio anual del 1.3 %, en Brasil y Perú crecieron 0.8 % y 1.1 %, respectivamente.

Estacionariedad de las variables

El análisis del comportamiento de cada serie es una manera intuitiva, no formal, que permite vislumbrar si una variable es o no estacionaria. Aquí también se llevarán a cabo las pruebas usuales de raíces unitarias: Augmented Dickey and Fuller (ADF) (Dickey & Fuller, 1979), Phillips-Perron (PP) (Phillips & Perron, 1988) y Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt & Shin, 1992), para de manera formal establecer la estacionariedad de las variables de cada país.

En la dinámica de las variables descrita en la sección anterior se hizo hincapié en que las de Brasil, Perú y el *PibPc* de México presentan tenden-

cia y algo de variabilidad, de manera que de acuerdo a su dinámica ellas no serían estacionarias, mientras que en los Ti de México se observa un comportamiento que oscila alrededor de una media y con poca variabilidad después de 1986, por lo que parecería ser estacionaria.

Lo anterior se confirma o refuta con las pruebas estadísticas de raíces unitarias ya mencionadas, las cuales se efectuaron para cada una de las variables tanto en log-niveles como en tasas de crecimiento, y sus resultados se muestran en el cuadro 1.¹ De ellos se desprende que las variables en log-niveles de Brasil y Perú no son estacionarias, sin embargo, su tasa de crecimiento sí lo es, de manera que son integradas de orden uno, $I(1)$, y por tanto susceptibles de ser cointegradas. Eso mismo sucede para el $\ln(PibPc)$ de México, ella es $I(1)$, pero no para el $\ln(Ti)$ de ese país, que es $I(0)$, es decir, ella es estacionaria y en consecuencia no pueden estar cointegradas, ya que tienen diferente orden de integración en log-niveles.

Pruebas de cointegración

Prueba de Engle y Granger

En la prueba de cointegración de Engle y Granger (Engle y Granger, 1987), la ecuación de equilibrio de largo plazo está dada por

$$\ln(PibPc_t) = \beta_1 + \beta_2 t + \beta_3 \ln(Ti_t) + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, T,$$

donde ε_t son ruidos blancos gaussianos y T es el total de datos. Una vez estimada, se debe garantizar que sus residuos son estacionarios, $I(0)$, para poder concluir que en Brasil y Perú, $\ln(PibPc)$ y $\ln(Ti)$ están cointegradas.

¹ El logaritmo de la variable x_t se denota $\ln(x_t)$. Su tasa de crecimiento se calcula como la primera diferencia de logaritmo natural de x_t , es decir, $\Delta \ln(x_t) = \ln(x_t) - \ln(x_{t-1})$, esta es una transformación muy conveniente, ya que por un lado el logaritmo reduce la variabilidad, y por el otro, la diferencia hace lo propio con la tendencia, además de que tiene una interpretación muy adecuada como tasa de crecimiento.

Cuadro 1
Pruebas de estacionariedad

<i>Variable</i>	<i>ADF</i>	<i>PP</i>	<i>KPSS</i>
Brasil			
<i>ln(PibPc)</i>	-0.3375 (0.9090) [-2.9484]	0.2194 (0.9700) [-2.9484]	0.6586 [0.4630]
$\Delta \ln(PibPc)$	-3.5164 (0.0134)* [-2.9484]	-3.5861 (0.0112)* [-2.9484]	0.1206 [0.4630]
<i>ln(Ti)</i>	-1.0493 (0.7240) [-2.9511]	-1.0630 (0.7188) [-2.9511]	0.6176 [0.4630]
$\Delta \ln(Ti)$	-6.6539 (0.0000)* [-2.9540]	-6.6539 (0.0000)* [-2.9540]	0.0819 [0.4630]
México			
<i>ln(PibPc)</i>	0.2168 (0.9697) [-2.9511]	0.0869 (0.9600) [-2.9511]	0.4788 [0.4630]
$\Delta \ln(PibPc)$	-5.0146 (0.0002)* [-2.9540]	-5.0416 (0.0002)* [-2.9540]	0.4435 [0.4630]
<i>ln(Ti)</i>	-3.1299 (0.0337)* [-2.9511]	-3.2240 (0.0272)* [-2.9511]	0.2437 [0.4630]
Perú			
<i>ln(PibPc)</i>	0.1547 (0.9652) [-2.9540]	1.1799 (0.9974) [-2.9511]	0.6096 [0.4630]
$\Delta \ln(PibPc)$	-3.5178 (0.0137)* [-2.9540]	-3.4920 (0.0146)* [-2.9540]	0.3480 [0.4630]
<i>ln(Ti)</i>	-1.0047 (0.7404) [-2.9511]	-0.9245 (0.7680) [-2.9511]	0.5233 [0.4630]
$\Delta \ln(Ti)$	-6.3160 (0.0000)* [-2.9540]	-6.9627 (0.0000)* [-2.9540]	0.2897 [0.4630]

Los números en paréntesis son los *p-values*, los que están en corchetes son los valores críticos al 5 % de significancia y el * indica rechazo de la hipótesis nula al 5 %.

Fuente: Elaboración propia.

Se estimaron dos ecuaciones de largo plazo, la de Brasil y Perú, ya que sus correspondientes variables son ambas integradas de primer orden. Sin embargo, los residuos de la ecuación estimada para Perú, no resultaron ser proxis apropiadas del error estocástico, por lo que se procedió a estimar nuevamente la ecuación de largo plazo, pero ahora sin tendencia (ver Anexo). Finalmente se analiza la estacionariedad de los residuos $\hat{\varepsilon}_t = \ln(Y_t) - \ln(\widehat{Y}_t)$, con $Y_t = PibPc_t$, mediante las pruebas de raíces unitarias y se concluye, con base en la prueba de Engle y Granger, que las variables crecimiento económico per cápita y términos de intercambio están cointegradas en Brasil y en Perú (cuadro 2).

Cuadro 2

Pruebas de estacionariedad de los residuos
de la ecuación de largo plazo

<i>Variable</i>	<i>ADF</i>	<i>PP</i>	<i>KPSS</i>
Brasil			
$\hat{\varepsilon}_t$	-4.8604 (0.0004)*	-4.9914 (0.0003)*	0.0659
Perú			
$\hat{\varepsilon}_t$	-2.7382 (0.0782)**	-2.7093 (0.0892)**	0.5137
Valores críticos			
5 %	-2.9511	-2.9511	0.4630
10 %	-2.6143	-2.6143	0.3470

Los números en paréntesis son los p -values, el * indica rechazo de la hipótesis nula al 5 % de significancia y ** al 10 %.

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de Johansen

La prueba de rango de Johansen (Johansen, 1991) tiene dos versiones, la del máximo valor propio y la de la traza, y ambas se realizan para las variables de Brasil y Perú. El cuadro 3 muestra los resultados de esas pruebas para esos países. Se puede observar que en la segunda iteración de ambas pruebas no se rechaza la hipótesis nula que establece que los términos de

intercambio y el crecimiento económico de los países correspondientes están cointegrados.

Cuadro 3
Pruebas de Johansen

H_0	H_1	<i>Brasil</i>		<i>Perú</i>	
		λ_{Traza}	λ_{Max}	λ_{Traza}	λ_{Max}
$r = 0$	$r = 1$	16.3996 (0.0365)* [15.4947]	16.2872 (0.0236)* [14.2646]	17.8193 (0.0212)* [15.4947]	15.2390 (0.0350)* [14.2646]
$r \leq 1$	$r = 2$	0.1124 (0.7375) [3.8414]	0.1124 (0.7375) [3.8414]	2.6793 (0.1017) [3.8414]	2.6793 (0.1017) [3.8415]

r es el número de relaciones de cointegración, λ_{Traza} es el estadístico de la prueba de la Traza y λ_{Max} el correspondiente a la del Máximo valor propio.

Los números entre paréntesis son los p -values, los que están en corchetes son los valores críticos al 5 % de significancia y el * indica rechazo de la hipótesis nula al 5 %.

Fuente: Elaboración propia.

Así, los términos de intercambio y crecimiento económico en Brasil y Perú están cointegrados. Por tanto, para estos países, los términos de intercambio pueden favorecer o desfavorecer al crecimiento económico. Mientras que en México no pueden estar cointegrados, ya que tienen diferente orden de integración en log-niveles.

Conclusiones

Se ha desarrollado un modelo de crecimiento endógeno con tres sectores. Se ha considerado que el sector manufacturero es el único que genera progreso técnico doméstico por medio de un aprendizaje por la práctica. También, se ha supuesto que el conocimiento se desborda al sector de materias primas y al sector no-comerciable. Así, tres externalidades de conocimiento coexisten en el modelo.

Se ha mostrado, en el estado estacionario, que cuando los términos de intercambio aumentan, la proporción de trabajo empleado en el sec-

tor de materias primas aumenta, en la manufactura se mantiene constante y en el sector no-comerciable disminuye. Asimismo, se estimula la acumulación de capital en el sector manufacturero y se desestimula la acumulación de capital en el sector no-comerciable. Por lo anterior, la proporción entre capitales disminuye a un nuevo estado estacionario. También, el precio relativo del bien no-comerciable no varía entre estados estacionarios. Por lo tanto, se ha mostrado que el sector manufacturero mejora, aumentando su capital y manteniendo la proporción de trabajo empleado. Finalmente, se ha comprobado que como el sector líder en tecnología es favorecido, la tasa de crecimiento de la economía aumenta.

El análisis empírico que se llevó a cabo para Brasil, México y Perú consistió en establecer, en primer lugar, la estacionariedad de las variables, y en segundo, en realizar pruebas de cointegración cuando se tienen variables integradas del mismo orden, condujo a que los términos de intercambio y el crecimiento económico en Brasil y Perú estén cointegrados, de manera que existe una relación de largo entre esas variables y, por tanto, se garantiza una tendencia común y un comportamiento acompasado de las variables correspondientes a cada país. En México no se pudo efectuar este análisis ya que sus variables en log-niveles son integradas de diferente orden y en consecuencia no se puede establecer una relación de largo plazo con ellas. Sin embargo, como fue señalado, el motor de crecimiento de largo plazo es el progreso técnico, los términos de intercambio lo pueden favorecer o perjudicar.

Finalmente, las economías exportadoras de materias primas continuarán expuestas a la volatilidad de los precios de las materias primas, pero creemos firmemente que, si la entrada de divisas es bien manejada y existen instituciones sanas, los recursos naturales pueden ser saludables para el crecimiento económico.

Anexo

A continuación se presentan las pruebas de diagnóstico del término estocástico en la ecuación de largo plazo, así como la de especificación correcta de ese modelo. De los resultados del cuadro A se obtiene que los

residuales son proxis apropiadas del término estocástico en el modelo para Brasil, ya que son normales, no autocorrelacionados y homoscedásticos y, además, la especificación de la ecuación de largo plazo es correcta.

Cuadro A
Pruebas de diagnóstico

	<i>Brasil</i>		<i>Perú*</i>		<i>Perú**</i>	
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>p-value</i>	<i>Estadístico</i>	<i>p-value</i>	<i>Estadístico</i>	<i>p-value</i>
Normalidad (JB)	2.2172	0.3300	0.0936	0.9543	2.0056	0.3669
Autocorrelación (BG)	0.6590	0.4231	16.1925	0.0003	0.9589	0.0120
Heteroscedasticidad						
- WsinTC	0.9692	0.3936	5.1968	0.0111	0.6427	0.4285
- WconTC	0.8558	0.5222	5.1129	0.0018	2.5952	0.0903
- BPG	0.7216	0.4937	5.6132	0.0081	0.5855	0.4496
Especificación correcta (RESET)	2.3906	0.1322	4.2749	0.0002	4.5306	0.0411

* Pruebas de diagnóstico y especificación correcta basadas en el modelo de largo plazo con tendencia.

** Pruebas de diagnóstico y especificación correcta basadas en el modelo de largo plazo sin tendencia.

JB: Jarque Bera, BG: Breusch-Godfrey, WsinTC: White sin términos cruzados, y BPG: Breusch-Pagan-Godfrey.

Referencias bibliográficas

- Arrow, K. J. (1962). "The Economic Implication of Learning by Doing", *Review of Economic Studies*, 29, 155-173.
- Barro, R. J., N. G. Mankiw y X. Sala-i-Martin (1995). "Capital Mobility in Neoclassical Models of Growth", *American Economic Review*, Vol. 85, 103-115.
- Caselli, F. (2006). "Power Struggles and the Natural Resource Curse", Working Paper LSE.
- CEPAL (2017). Índices de la relación de precios del intercambio y poder de compra de las exportaciones, Estadísticas e Indicadores Económicos.

- Dickey, D. y W. Fuller (1979). "Distribution of the estimators for autoregressive time series with unit root", *Journal of American Statistical Association*, 74, 427-431.
- Engle, R. F. y C. W. J. Granger, (1987). "Co-integration and error correction: Representation, Estimation and Testing", *Econometrica*, 55, 251-276.
- Feenstra, R. C., R. Inklaar y M. P. Timmer (2015). "The Next Generation of the Penn World Table", *American Economic Review*, 105, 10, 3150-3182, datos disponibles en www.ggdc.net/pwt
- Frankel, J. A. (2010). "The Natural Resource Curse: A Survey", HKS Faculty Research Working Paper Series, RWP10-005, John F. Kennedy School of Government, Harvard University.
- Gylfason, T. (2001). "Natural Resources, Education, and Economic Development", *European Economic Review*, 45, 847-859.
- Johansen, S. (1991). "Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models", *Econometrica*, 59, 1551-1580.
- Kwiatkowski, D., P. Phillips, P. Schmidt y Y. Shin (1992). "Testing the null hypothesis of stationary against the alternative of unit root", *Journal of Econometrics*, 54, 159-178.
- Lederman D. y W. F. Maloney (2007). "Trade Structure and Growth", en *Neither Curse nor Destiny*, editado por D. Lederman y W. F. Maloney, Stanford University Press y Banco Mundial.
- Lucas, R. E. (1988), "On the Mechanics of Economic Development", *Journal of Monetary Economics*, 22, 3-42.
- Phillips, P. y P. Perron (1988). "Testing for a unit root in time series regression", *Biometrika*, 75, 335-346.
- Romer, P. M. (1986), "Increasing Returns and Long-Run Growth", *Journal of Political Economy*, Vol. 94, 5, 1002-1037.
- Sachs, J. D. y A. M. Warner (1995), "Natural Resource Abundance and Economic Growth", NBER Working Paper N°5398.
- (2001), "The Curse of Natural Resources", *European Economic Review*, 45, 827-838.
- Sala-i-Martin, X. y A. Subbramanian (2003), "Addressing the Natural Resource Curse: An Illustration from Nigeria", NBER Working Paper No. 9804.
- Sala-i-Martin, X., G. Doppelhofer y R. I. Miller (2004), "Determinants of Long-Term Growth: A Bayesian Averaging of Classical Estimates (BACE) Approach", *American Economic Review*, Vol. 94, No. 4, 813-835.

- Stuermer, M. y G. Schwerhoff (2017), "Non-Renewable Resources, Extraction Technology, and Endogenous Growth", en www.aeaweb.org/conference/2018
- Succar, P. (1987), "The need for industrial policy in LDC's: a restatement of the infant industry argument", *International Economic Review*, 28, 2, 521-534.
- Turnovsky, S. J. (2009), *Capital Accumulation and Economic Growth in a Small Open Economy*, Cambridge University Press.
- Young, A. (1991), "Learning by doing and the dynamic effects of international trade", *Quarterly Journal of Economics*, 106, 2, 369-405.

CAPÍTULO 5

ENERGÍA RENOVABLE Y GEOGRAFÍA EN LOS PAÍSES DE LA OCDE: IMPACTO SOBRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO (2000-2018)

JUAN JOSÉ ESPARZA LÓPEZ
CLEMENTE HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

Introducción

Esta investigación busca identificar si las diferencias significativas en la geografía afectan la producción de energía, para luego ver los impactos de las fuentes de energía en el crecimiento económico de los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) en el periodo de 2000 a 2018.

La teoría económica busca explicar las razones entre las diferencias que han mostrado los patrones de crecimiento económico entre países. A partir del trabajo de Solow (1956) se plantea un modelo de competencia perfecta, considerando el cambio tecnológico exógeno. Esto implica que el crecimiento de la fuerza laboral y el crecimiento de la tasa de ahorro afectan al *stock* de capital, sin importar las condiciones iniciales de los países, puedan crecer de forma sostenida. Se ha discutido cómo generar una senda de crecimiento equilibrado que pueda ser llevada al infinito, sobre todo cuando se consideran afectaciones ambientales que el crecimiento económico genera, ya que existen leyes de la termodinámica que no pueden ser omitidas, como el hecho de que la materia no se crea ni se destruye, solo se transforma, y que siempre se requiere un mínimo de energía para transformarla, lo que se entiende como los límites del crecimiento (Georgescu-Roegen, 1971; Ayres y Kneese; 1969, Baumgartner, 2004).

No obstante, Solow, plantea la opción que tienen las economías para combatir la limitación que los recursos imponen a esta senda de crecimiento, y que esta pueda ser sostenible, si se compensa la escasez de recursos con el incremento de productividad de estos a partir de las innovaciones (Solow, 1974). Sin embargo, cabe resaltar que este no explica la fuente de estas innovaciones que permitirán la sostenibilidad del crecimiento, así como sí lo explicita Arrow (1962) mediante el aprendizaje que se genera en la práctica, considerando que este cambio tecnológico se da por la inercia de producir nuevos bienes de capital, mientras que para Hicks (1932), con el modelo de innovación inducida, los esfuerzos y los incentivos están enfocados en el desarrollo de mayor cantidad de innovaciones. Sin embargo, estos modelos, no consideran la energía como un factor de producción, se centran principalmente en el trabajo y el capital. No obstante, la misma fuerza de un trabajador al producir a través de máquinas y materiales se puede sustituir por energía eléctrica para producir lo mismo, por lo cual se puede decir que la energía adquiere las mismas propiedades que el trabajo (Pokrovski, 2003).

Solow (1974) sostiene que cuando existe más de un insumo tanto de capital como de recursos naturales, el crecimiento económico tomará diferentes caminos, dependiendo de las condiciones técnicas que incluyen combinaciones de renovables y no renovables, la dotación inicial de capital y recursos naturales, así como la facilidad que se tiene para sustituir unos por otros. Independientemente, que se considere que una mayor cantidad de capital invertida en mejorar los productos finales haciendo necesaria menor cantidad de energía, se ha encontrado que estos no son buenos sustitutos, por lo cual surge el interés de analizar la energía como un factor independiente en la producción (Stern, 2010; Lee y Chang, 2008).

Se ha identificado que la energía contribuye directamente agregando valor al producto final e indirectamente al ser un complemento necesario en la producción (Apergis y Payne, 2009). Al igual que otros recursos naturales, la energía y sobre todo aquella que proviene de fósiles, conocida como la energía no renovable, impone un límite en el crecimiento, por lo cual los países han centrado la atención en garantizar la seguridad energética (Balitsky, Bacelli y Ringwood, 2014; Murshed, 2018; Nepal y Paija, 2019).

Las innovaciones en el sector de la energía pueden generar dos situaciones que promueven el crecimiento económico. La primera, una innovación donde la energía renovable genera energías de mayor calidad, o mayor productividad que haría obsoleta la energía no renovable (Aghion y Howitt, 1992). La segunda, que aunque estas nuevas fuentes de energía no generen una mejora en la calidad, la variedad de productos intermedios especializados al verse incrementados con nuevas posibilidades de factores de producción lleva a aumentar la productividad, ya sea por un efecto nivel, debido a que se tiene mayor disponibilidad de insumos, o un efecto crecimiento, debido a que la innovación que generó nuevos productos puede servir para desarrollar nuevas innovaciones en el futuro (Romer, 1990; Broda, Greenfield y Weinstein, 2006).

Los recursos y energía son importantes para la producción. Estas se han distinguido por su escasez, su impacto en la contaminación y sus diferentes proporciones de energía útil y energía requerida para extraerse, conocido como el rendimiento energético de la inversión o EROI (Hall, Cleveland y Kaufmann, 1986). A pesar de que en un comienzo las energías renovables no fuesen de costos iguales que las energías no renovables, estas servirían como una tecnología de respaldo, que en un determinado momento logra generar una senda de crecimiento equilibrado de largo plazo (Nordhaus, 1973). Además, se ha identificado que el EROI de fuentes de energía renovables con el tiempo tiende a mejorar, algo que no se observa en el caso de energías fósiles (Kubiszewski, Cleveland y Endres, 2010).

Por otro lado, existen críticas en la sustitución entre capital y recursos, que el progreso tecnológico permite, solo tiene un papel limitado en la mitigación de consumo de recursos, debido al hecho de que el incremento en la productividad solo genera un mayor uso de energía; se producen máquinas más eficientes que requieren menor cantidad de energía para funcionar, pero esto genera mayores ingresos e incrementa las máquinas utilizadas (Stern, 1997; Hall *et al.*, 2003).

En los análisis de la energía renovable y el crecimiento económico, se pueden postular diferentes hipótesis en cuanto a la causalidad como las evidencias empíricas que se presentan en este documento, por citar ejemplos (Marinas, Dinu, Socol y Socol, 2018; Busu, 2020; Latief, Kong, Peng y Javeed, 2020; Usman, Kousar, Yaseen y Makhdum, 2020), entre

otros, siendo una de ellas que el uso de energías renovables lleva a un mayor crecimiento económico (hipótesis de crecimiento), debido a que se deja de contaminar el medio ambiente, pero se sigue utilizando su poder productivo, como la capacidad de hacer funcionar cualquier objeto electrónico; o, desde otro punto de vista, considerar que el crecimiento económico es el que lleva a los países a tener mayor capacidad para invertir en este tipo de nuevas fuentes de energía (hipótesis de conservación); o visto desde un punto de vista circular, la causalidad bidireccional (hipótesis de retroalimentación); o que simplemente no exista una relación (hipótesis de neutralidad).

La generación de energías renovables no solo es importante por el hecho de que se permite acabar con el límite impuesto por los recursos y la termodinámica, también es importante la disminución de las emisiones de CO₂. Que se pueda representar la curva de Kuznets que muestra que los países en un inicio (países no desarrollados) comienzan a crecer y a su vez crecen sus emisiones, pero llega el punto de inflexión donde el crecimiento económico permite utilizar una parte de los ingresos extras para mitigar estas emisiones, como se puede observar en el modelo de Green Solow (Brock y Taylor, 2004). Asimismo, se han generado más intentos de generar explicaciones donde se combinen los modelos de crecimiento exógeno y los problemas ambientales, como puede ser el calentamiento solar, así es posible incluir los costos y beneficios que tienen las estrategias para mitigar la contaminación (Nordhaus, 1992).

Los modelos de crecimiento económico que siguieron los supuestos de Solow, en las últimas décadas, han centrado su interés en las decisiones que tienen los agentes económicos, en cuanto a la generación de capital a través de las tasas de ahorro, capital humano e innovaciones que permitan incrementar los insumos o productos finales de mayor calidad.

Sin embargo, explicar las diferencias en el crecimiento económico de los países con base en su geografía, como Malthus (1778) –argumentó en su *ensayo sobre el principio de la población* sobre el espacio físico y el uso de la tierra como un problema para mantener las necesidades de una población en crecimiento–, resulta interesante. Por ejemplo, para Alexander Von Humboldt, las características y recursos naturales de un país tienen una relación estrecha con los progresos de la población y

su bienestar, donde se pueden identificar factores como la cantidad de montañas, extensión de las llanuras, altura del nivel de mar, temperatura y humedad (Von Humboldt, citado en Esquivel, 2000).

La geografía tiene una relación con el crecimiento donde se identifica que los países más alejados del Ecuador se desarrollan más (Gallup, Sachs y Mellinger, 1999). Así como la abundancia de recursos naturales (Sachs y Warner, 1996) y la ausencia de acceso al mar perjudica al desarrollo, al generar mayores costos de transporte (Radelet y Sachs, 1998). De igual forma, en cuestión de las energías renovables, la temperatura, la fuerza del viento, la cantidad de horas de luz solar y en forma específica la energía marina, son recursos con dependencia geográfica (Kazaz y Adiguzel, 2019; Islam y Hasanuzzaman, 2020). Es por ello que la disponibilidad de recursos junto con el costo de la energía son los criterios técnicos y económicos más importantes en la toma de decisiones de inversión en fuentes de energía renovable (Garni, Kassem, Awasthi, Komljenovic y Haddad, 2016).

De acuerdo a lo expuesto hasta aquí, y con el interés de considerar variables geográficas, además de las ya implementadas en las explicaciones sobre el crecimiento económico y las energías renovables, seguimos el acercamiento de (Busu, 2020; Latief, Kong, Peng y Javeed; 2020, Usman, Kousar, Yaseen y Makhdum, 2020; Yang y Kim, 2020; Miranda, Hausler, Lopez, Glaus y Pasillas-Díaz, 2020; Pérez, García y Maldonado, 2020; Ozcan, Tzeremes y Tzeremes, 2020; Etokpan, Solarin, Yorucu, Bekun y Sarkodie, 2020), entre otros.

El objetivo de este trabajo es identificar si existen diferencias significativas en la producción de fuentes de energía en el crecimiento económico de los países de la OCDE, así como identificar si estas diferencias se relacionan con la cantidad de horas de sol y el acceso al océano como determinantes geográficos (o si es el hecho de utilizar una mayor cantidad de innovaciones de productos intermedios).

En la sección 2 se presenta la revisión de literatura partiendo de los estudios realizados en panel, seguidos de los estudios en países individuales. En la sección 3 se presentan los datos y hechos estilizados. En la sección 4 se presenta la metodología. En la sección 5 se analizarán los resultados y, por último, en la sección 6 se discuten las conclusiones.

Las energías renovables y el crecimiento económico

Entre los estudios empíricos que relacionan las energías renovables en el crecimiento económico en países desarrollados, se tiene la investigación de Busu (2020), quien analiza a 28 miembros de la Unión Europea de 2004 a 2018, encontrando que el mayor impacto en el crecimiento económico proviene de la fuerza laboral, seguido de la I+D, la producción de energía a través de biomasa y productividad de los recursos; adicionalmente, todas las demás fuentes de generación de energía son significativas, pero con un menor impacto. Sin embargo, en ese momento solo once países habían cumplido con los objetivos planteados. Estos resultados muestran que los países podrían seguir incrementando sus inversiones en energías renovables sin afectar el crecimiento. Latief, Kong, Peng y Javeed (2020) analizan catorce países, desarrollados y en desarrollo, miembros de la Unión para el Mediterráneo, donde encuentran que el consumo de energía tiene efectos de largo plazo en el desarrollo sustentable, la fuerza laboral, la inversión extranjera directa y la inflación. Además, aunque en el corto plazo no existe causalidad entre el crecimiento económico y el consumo de energía, si este se mide en el largo plazo se identifica la hipótesis de retroalimentación, por lo cual las políticas no deberían solo considerar los efectos de corto plazo sino optar por una visión de largo plazo.

Los supuestos de la curva de Kuznets tratan de explicar que aquellos países que tienen mayores ingresos pueden tomar medidas para contrarrestar los problemas ambientales. Por ello, Usman, Kousar, Yaseen y Makhdam (2020) analizan 33 países en África, América, Asia y Europa, de ingresos altos-medios, de 1994 a 2017, y cómo han afectado la huella ecológica. Los resultados obtenidos muestran la hipótesis de retroalimentación para el caso de Europa y América, mientras que para Asia y África se identificó la hipótesis de conservación. Tomando en cuenta que el porcentaje de energías renovables es inferior en el caso de Asia, comparado con América y en mayor medida de Europa, los países de Asia pueden buscar el incremento de este porcentaje sin afectar su tasa de crecimiento de la economía.

Miranda, Hausler, Lopez, Glaus y Pasillas-Diaz (2020) analizan la curva de Kuznets para Canadá, Estados Unidos de América y México de 1990 a

2016, donde encuentran que para México existe causalidad unidireccional de las emisiones de CO₂, la intensidad de energía (energía utilizada) y exergía (energía disponible) al crecimiento económico. En el caso de Canadá se identificó una relación unidireccional de las emisiones de CO₂ con la apertura económica, y, para el caso de Estados Unidos, una relación bidireccional de la intensidad de exergía con las emisiones de CO₂.

Ozcan, Tzeremes y Tzeremes (2020) analizan 35 países de la OCDE de 2000 a 2014, encontrando que el crecimiento económico y el consumo de energía tienen un impacto positivo sobre las emisiones de CO₂, la huella ecológica y el índice de desempeño ambiental, además, rechazan la hipótesis de la curva de Kuznets. Pero esto podría ser explicado por la heterogeneidad en el grado de desarrollo del país y podrían existir países que todavía no llegan al punto máximo de la curva. Además, se identificó evidencia de la hipótesis de retroalimentación entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

Yang y Kim (2020) analizan la producción solar en China, Canadá, Estados Unidos y Corea, y eólica para China, Estados Unidos, Dinamarca, Alemania, India y España de 1980 a 2017. Se puede mostrar que la fuente de energía difiere en los resultados obtenidos, siendo que la hipótesis de crecimiento se respalda de energías renovables, exceptuando para China, en la producción de energía solar, y para China y Dinamarca, de producción eólica. Sin embargo, para los demás países, optar por incrementar la producción de estas fuentes de energía es una clara opción, mientras que para China y Dinamarca podrían explorar otras fuentes de energía o volverse más eficientes en esta producción. Pérez, García y Maldonado (2020) analizan la transición energética en Europa, enfocando de forma comparativa lo sucedido en España y Portugal de 1990 a 2017. Se identificó la hipótesis de neutralidad en el total de energías, la hipótesis de conservación utilizando energía eólica, y la hipótesis de crecimiento para España en el uso de energía solar.

No obstante a que el tema principal es el crecimiento económico, se plantea la posibilidad de que otras variables económicas se vean beneficiadas. Singh, Nyuur y Richmond (2019), además de considerar el impacto que las energías renovables tienen sobre el crecimiento económico, incluyen el impacto sobre la formación bruta de capital y la participación sobre

la fuerza laboral. Sus resultados hallaron que las energías renovables tienen un impacto significativo y positivo sobre el crecimiento económico, tanto para las economías desarrolladas como para las economías en vías de desarrollo, lo que respalda la hipótesis de crecimiento. Las diferencias se presentaron en formación de capital y contribución a la fuerza de trabajo (generación de empleos), pues las economías desarrolladas mostraron tener un impacto positivo en la generación de empleo, pero no tener un impacto positivo en la formación de capital. En cuanto a las economías en vías de desarrollo, no tuvo impacto significativo ni en la formación de capital ni en la fuerza laboral.

Los estudios de un solo país desarrollados se han concentrado en estudiar a Malasia. Etokpan, Solarin, Yorucu, Bekun y Sarkodie (2020) analizan la hipótesis de conexión entre el gas natural y el crecimiento económico de 1980 a 2014, identificando que un incremento de 1 % en el consumo de energía (gas natural) incrementa la tasa de crecimiento económico por 0.03 % en el largo plazo. Esto difiere de lo obtenido en Raza, Ahmed y Alshebami (2020), donde se apoyó la hipótesis de neutralidad para el caso de Malasia de 1989 a 2018. Sin embargo, siguen justificando el uso de energías renovables, debido a que sí tienen un impacto en la reducción de emisiones de CO₂, y se recomienda que el gobierno intervenga para que se invierta más en el uso de este tipo de energía. Sulub, Hamid y Nazri (2020) analizan la relación entre la producción de energía hidroeléctrica en el crecimiento económico de Malasia para el periodo de 1978 a 2017, encontrando que existe una relación de conservación, por lo cual las políticas de reducción del consumo de energía no afectarían al crecimiento económico ni en el corto ni en el largo plazo, además de mostrar una relación bidireccional entre la inversión y la producción de energía a través de hidroeléctricas.

Pilotowska, Geise y Wlodarczyk (2020) analizan el caso de España utilizando las variables de consumo de energía nuclear y renovable, las emisiones de CO₂ y el producto interno bruto de 1970 a 2018. Los hallazgos muestran consistencia con la hipótesis de retroalimentación entre las energías renovables y el crecimiento económico, al igual se identifica que durante periodos de expansión existe una causalidad bidireccional entre emisiones de CO₂ y crecimiento económico, a diferencia de los periodos de recesión donde no hay causalidad.

Tabla 1
Investigaciones de causalidad del nexo energías renovables-crecimiento económico

Autor	Países	Periodos	Metodología	Variables	Resultados
Desarrollados					
Panel					
Busu (2020)	28 Unión Europea	2004 a 2018	adrl	Crecimiento económico, producción de energía hidroeléctrica, eólica, solar, biomasa, geotérmica, recursos, fuerza laboral e I+D	Retroalimentación
Latief, Kong, Peng y Javeed (2020)	14 países desarrollados y en desarrollo de la Unión para el Mediterráneo	1995 a 2014	gmm	Crecimiento económico, consumo de energía, desarrollo sustentable, inversión extranjera directa, fuerza laboral, stock de capital, desarrollo financiero, población e inflación	Retroalimentación
Yang y Kim (2020)	China, Canadá, Estados Unidos, Corea, Dinamarca, Alemania, India y España	1980 a 2017	adrl	PIB, producción de energía no renovable, solar y eólica, formación bruta de capital fijo y fuerza laboral	Crecimiento (exceptuando China y Dinamarca)
Miranda, Hausler, Lopez, Glaus y Pasillas-Diaz (2020)	Canadá, Estados Unidos y México	1990 a 2016	va	Emisiones de CO ₂ , consumo de energía, PIB per cápita, intensidad de energía y exergía renovable, índice de desarrollo humano y apertura económica	Crecimiento (México)
Usman, Kousar, Yassen y Makhdom (2020)	33 países de ingresos altos y medios en África, Asia, América y Europa	1994 a 2017	mocmc, mcd, amg y fmcg	Crecimiento económico, inversión extranjera directa, utilización de energía primaria y renovable, apertura económica y huella ecológica	Retroalimentación (América y Europa), Conservación (África y Asia)

Autor	Países	Períodos	Metodología	Variables	Resultados
Desarrollados					
Panel					
Pérez, García y Maldonado (2020)	España, Portugal y los 26 países de la Unión Europea restante	1990 a 2017	Causalidad Granger	PIB, consumo de energía, renovables, eólica y solar	Neutralidad (Energías renovables), Conservación (Eólica) y Retroalimentación (Solar- España)
Ozcan, Tzeremes y Tzeremes (2020)	35 países de la OCDE	2000 a 2014	GMM, PVAR y Panel Causalidad Granger	Crecimiento económico, consumo de energía, emisiones de CO ₂ , huella ecológica e índice de desempeño ecológico	Retroalimentación
Singh, Nyuur y Richmond (2019)	20 países desarrollados y en desarrollo	1995 a 2016	MOCMC, Cointegración	PIB, formación de capital fijo bruto, fuerza laboral, producción de energía renovable y producción de energía por fósiles	Crecimiento
Un País					
Etokpan, Solarin, Yorucu, Bekun y Sarkodie (2020)	Malasia	1980 a 2014	adrl	Crecimiento económico, formación bruta de capital, emisiones de CO ₂ , indicador de globalización y uso de gas natural	Crecimiento
Sulub, Hamidy Nazri (2020)	Malasia	1978 a 2017	adrl	Crecimiento económico, producción de energía hidroeléctrica, consumo de energía y formación de capital fijo	Conservación

Autor	Países	Períodos	Metodología	Variables	Resultados
Desarrollados					
Panel					
Raza, Ahmed, Alshebami y Polyakova (2020)	Malasia	1989 a 2018	adrl	Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de CO ₂	Neutralidad
Pilotowska, Geise y Włodarczyk (2020)	España	1970 a 2018	va	Producción de energía nuclear, consumo de energía renovable, emisiones de CO ₂ y PIB	Retroalimentación

Nota: ADRL (Modelo Autorregresivo de Rezagos Distribuidos), GMM (Sistema de Generalizador de Momentos), VAR (Vector Autorregresivo), mcocm (Mínimos Cuadrados Ordinarios Completamente Modificados) y mcd (Mínimos Cuadrados Dinámicos), AMG (estimador del grupo medio aumentado), FMCC (estimador de bienes de consumo de consumo de rápido movimiento).

Fuente: Elaboración propia, con información de las investigaciones empíricas.

Energía renovable y geografía en los países de la OCDE: Datos y hechos estilizados

Las variables de energías renovables fueron tomadas de las bases de datos de IRENA (2020), siendo la generación de electricidad medida en Gigawatts por hora (GWh) en cinco fuentes diferentes: Hidroeléctrica (H), Solar (S), Marina (M), Bioenergía (B) y Eólica (E). Mientras que las variables económicas y de control utilizadas se tomaron de la base de datos del Banco Mundial (2021): para el crecimiento económico (CE) se utilizó la tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto per cápita (US\$ a precios constantes de 2010), para la fuerza laboral se utiliza como proxy la población activa (L) y como proxy del capital (K) se utiliza la formación bruta de capital (US\$ a precios constantes de 2010).

Tabla 2

Porcentaje de la producción energías renovables sobre el total de la producción de energía

<i>País</i>	<i>2000</i>	<i>2018</i>	<i>Promedio</i>
Japón	0.1043	0.1768	0.1176
Corea del Sur	0.0206	0.0476	0.0232
Turquía	0.2618	0.3110	0.2627
Austria	0.2294	0.2168	0.2109
Bélgica	0.0284	0.2524	0.1064
República Checa	0.0433	0.1553	0.0983
Dinamarca	0.1618	0.7082	0.3885
Estonia	0.0024	0.1819	0.0718
Finlandia	0.3474	0.4759	0.3601
Francia	0.1437	0.2125	0.1533
Alemania	0.0737	0.3788	0.1994
Grecia	0.0915	0.3228	0.1788
Hungría	0.0075	0.1254	0.0681
Islandia	0.8414	0.7111	0.7679
Irlanda	0.0657	0.3437	0.1686
Italia	0.2008	0.3932	0.2663
Letonia	0.7652	0.5640	0.6633

País	2000	2018	Promedio
Lituania	0.0641	0.8247	0.3160
Luxemburgo	0.8106	0.8881	0.4674
Países Bajos	0.0345	0.1701	0.0951
Noruega	1.0000	0.9823	0.9880
Polonia	0.0328	0.1421	0.0820
Portugal	0.3122	0.5228	0.4151
Eslovaquia	0.1793	0.2451	0.2092
Eslovenia	0.3052	0.3512	0.3014
España	0.1774	0.4031	0.2851
Suecia	0.5874	0.5711	0.5528
Suiza	0.5967	0.6181	0.6006
Reino Unido	0.0351	0.3485	0.1251
Israel	0.0008	0.0264	0.0083
Canadá	0.6258	0.6733	0.6386
México	0.1785	0.1535	0.1378
Estados Unidos	0.0897	0.1760	0.1161
Australia	0.3040	0.6854	0.4091
Nueva Zelanda	0.6604	0.6738	0.6269
Chile	0.5013	0.4795	0.4760
Colombia	0.7413	0.7126	0.7480
Total	0.2872	0.4115	0.3163

Fuente: Elaboración propia. Con información de IRENA (2020).

La producción de energías renovables ha venido creciendo, en busca de la transición energética, para dejar atrás la producción a base de no renovables, como se esperaba con los acuerdos a escala mundial (Protocolo de Kyoto, 1997; Acuerdo de Copenhague, 2009; Acuerdo de París, 2015, Agenda 2030, 2015). Se observa un crecimiento que pasa del 28.72 % al 41.15 %. No obstante, el esfuerzo no ha sido el mismo con cambios altos, como en los casos de Lituania, que pasó del 6.41 % al 82.47 %, y Dinamarca, que pasó del 16.18 % al 70.82 %. Asimismo, algunos países no han podido mantener esos porcentajes y han bajado, como en los casos de Austria, Islandia, Letonia, Noruega, Suecia, México, Chile y Colombia.

Sin embargo, la mayoría de estos países ya tienen porcentajes superiores a la media, exceptuando los casos de Austria y México.

Tabla 3

Tasas de crecimiento promedio de las fuentes de generación de energía y la tasa de crecimiento del producto interno bruto per cápita

<i>País</i>	<i>ce</i>	<i>H</i>	<i>E</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>M</i>
Japón	0.0081	-0.0051	0.2354	0.2871	0.0474	0.0000
Corea del Sur	0.0335	0.0144	0.2765	0.4177	0.2535	0.3415
Turquía	0.0337	0.0368	0.3558	0.6037	0.1539	0.0000
Austria	0.0097	-0.0026	0.2502	0.3388	0.0651	0.0000
Bélgica	0.0096	-0.0137	0.3414	0.4827	0.1258	0.0000
República Checa	0.0261	0.0082	0.3173	0.5979	0.1233	0.0000
Dinamarca	0.0078	-0.0390	0.0659	0.3811	0.0840	0.0000
Estonia	0.0380	0.0610	0.3586	0.3230	0.2551	0.0000
Finlandia	0.0106	-0.0054	0.2398	0.2249	0.0223	0.0000
Francia	0.0073	-0.0004	0.3548	0.4229	0.0674	-0.0031
Alemania	0.0123	-0.0040	0.1369	0.3687	0.1369	0.0000
Grecia	0.0006	0.0187	0.1465	0.5857	0.0767	0.0000
Hungría	0.0262	0.0123	0.3560	0.4241	0.1981	0.0000
Islandia	0.0178	0.0431	0.0256	0.0000	-0.0808	0.0000
Irlanda	0.0307	-0.0117	0.1982	0.2039	0.1214	0.0000
Italia	0.0013	-0.0004	0.1916	0.3966	0.1456	0.0160
Letonia	0.0471	-0.0082	0.1844	0.2693	0.3276	0.0000
Lituania	0.0522	0.0222	0.3824	0.3810	0.3113	0.0000
Luxemburgo	0.0094	0.0238	0.1295	0.4369	0.1264	0.0000
Países Bajos	0.0093	-0.0376	0.1414	0.3431	0.0460	0.1279
Noruega	0.0067	-0.0011	0.2683	0.1352	-0.0126	0.0000
Polonia	0.0371	-0.0303	0.4360	0.4138	0.1885	0.0000
Portugal	0.0063	0.0084	0.2399	0.3850	0.0494	0.0385
Eslovaquia	0.0383	-0.0138	0.0610	0.1968	0.1308	0.0000
Eslovenia	0.0204	0.0135	0.0197	0.6916	0.0755	0.0000
España	0.0082	0.0081	0.1320	0.3785	0.0764	0.0385
Suecia	0.0141	-0.0130	0.1997	0.3144	0.0593	0.0000
Suiza	0.0087	-0.0006	0.2058	0.2875	0.0431	0.0000

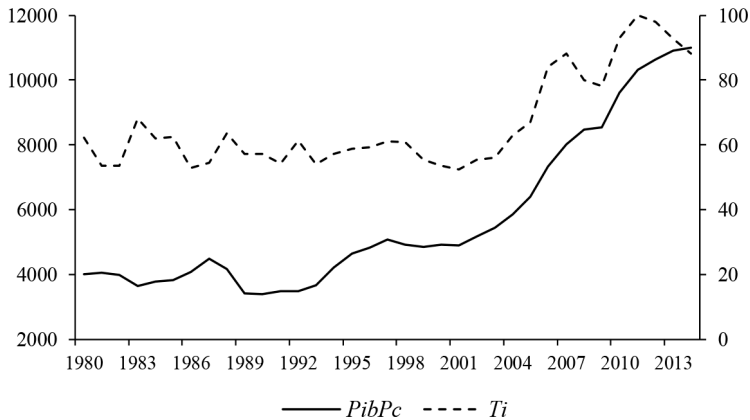
País	ce	H	E	S	B	M
Reino Unido	0.0108	0.0015	0.2275	0.5256	0.1179	0.3334
Israel	0.0125	-0.0131	-0.0275	0.3799	0.1396	0.0000
Canadá	0.0149	0.0035	0.2663	0.3039	0.0148	-0.0274
México	0.0064	-0.0010	0.3622	0.2929	0.0251	0.0000
Estados Unidos	0.0113	0.0069	0.2160	0.2660	0.0105	0.1332
Australia	0.0138	-0.0024	0.3092	0.3096	0.0629	0.0000
Nueva Zelandia	0.0151	0.0041	0.1581	0.1872	-0.0005	0.0000
Chile	0.0263	0.0129	0.3466	0.5311	0.1024	0.0000
Colombia	0.0255	0.0334	-0.0089	0.0493	0.0427	0.0000
Total	0.0180	0.0035	0.2189	0.3551	0.1009	0.0270

Fuente: Elaboración propia. Con información de IRENA (2020).

Como se observa en la Tabla 1, en su mayoría los países han crecido en este periodo, exceptuando el caso de Italia, que decreció un .13 %. Asimismo, se observa la divergencia entre las tasas de crecimiento, desde países que han crecido menos de 1 %, entre ellos Austria, Bélgica, Dinamarca, Francia, Grecia, Luxemburgo, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, España, Suiza y México, hasta países con tasas superiores al 4 %, como Letonia y Lituania, donde se puede observar que las conclusiones principales de Solow, donde serían los países que inician con condiciones iniciales más bajas los que crecerían más rápido, llegando a la convergencia de los países. De igual forma se puede observar cómo en este periodo la producción de energías renovables se ha incrementado: en primer lugar, la energía solar, seguida de la energía eólica y la bioenergía. No obstante a que todas las energías renovables han visto un incremento en su producción, también se observa que en la mayoría de los países la producción de la energía hidroeléctrica se ha reducido: También, la energía marina no ha sido suficientemente explorada, aunque muchos países tienen la oportunidad al tener salida al océano.

Gráfica 1

Relación con la tasa de crecimiento económico
y las tasas de crecimiento de energías renovables



Fuente: Elaboración propia.

De las gráficas anteriores se puede observar que, aunque existe heterogeneidad entre los países, y el poder de explicación de la varianza es bastante bajo, esto sirve para centrar el interés en el hecho de que los signos son diferentes entre las fuentes de energía renovable. Esto muestra la realidad de que la productividad de cada tipo de energía difiere. Así que la elección de cada tipo de energía puede generar diferentes resultados dentro de los países, con energías renovables que afectan de forma negativa al crecimiento económico, como la energía marina y la solar, mientras que otras fuentes de energía afectan de forma positiva, como la energía hidroeléctrica, la bioenergía y la eólica.

Tabla 4

Horas sol promedio anuales y acceso al océano

<i>País</i>	<i>Ciudad</i>	<i>Horas</i>	<i>Acceso</i>	<i>Marina</i>
Japón	Tokio	1870	Si	No
Corea del Sur	Seúl	2070	Si	Si
Turquía	Bodrum	2797	Si	No
Austria	Viena	1925	No	No
Bélgica	Antwerp	1630	Si	No

<i>País</i>	<i>Ciudad</i>	<i>Horas</i>	<i>Acceso</i>	<i>Marina</i>
República Checa	Praga	1670	No	No
Dinamarca	Copenhague	1635	Si	No
Estonia	Valga	1670	Si	No
Finlandia	Helsinki	1860	Si	No
Francia	París	1670	Si	Si
Alemania	Berlín	1712	Si	No
Grecia	Atenas	2769	Si	No
Hungría	Budapest	1988	No	No
Islandia	Reikiavik	1330	Si	No
Irlanda	Dublín	1440	Si	No
Italia	Roma	2470	Si	Si
Letonia	Riga	1760	Si	No
Lituania	Vilna	1691	Si	No
Luxemburgo	Luxemburgo	1710	No	No
Países Bajos	Ámsterdam	1670	Si	Si
Noruega	Oslo	1690	Si	No
Polonia	Varmia y Mazuria	999	Si	No
Portugal	Lisboa	2801	Si	Si
Eslovaquia	Bratislava	2042	No	No
Eslovenia	Liubliana	1974	Si	No
España	Madrid	2740	Si	Si
Suecia	Falun	1835	Si	No
Suiza	Berna	1690	No	No
Reino Unido	Londres	1640	Si	Si
Israel	Jerusalén	3390	Si	No
Canadá	Ottawa	999	Si	Si
México	Ciudad de México	2551	Si	No
Estados Unidos	Washington	2527	Si	Si
Australia	Canberra	2815	Si	No
Nueva Zelanda	Wellington	2051	Si	No
Chile	Santiago	2750	Si	No
Colombia	Medellín	1892	Si	No
Total		1993		

Fuente: Elaboración propia, con información de Weather and Climate (2021), BBC News Mundo (2018) e IRENA (2021).

Como se puede observar, existe una gran diferencia entre las horas de sol de cada uno de los países de la OCDE, con países que tienen pocas horas al año, como Canadá y Polonia con 999 horas, y las de países con hasta más de tres veces esta cantidad, como Israel con 3,390 horas. Estas diferencias se pueden ver reflejadas en la cantidad de electricidad generada por paneles solares, lo que también tendría efectos diferenciados en las tasas de crecimiento, de modo que la geografía podría tener un efecto sobre estas. Por otro lado, el acceso al mar ha sido un tema de desequilibrios económicos que se ha estudiado bastante por parte de la corriente geográfica y el crecimiento económico, sobre todo por la facilidad de transportar bienes y los costos extras en que incurren los países que no tienen este acceso. Para el caso de las energías renovables les impone un nuevo castigo, que es la imposibilidad de producir energía marina y utilizar la fuerza del mar. Sin embargo, se puede observar que entre los países de la OCDE el 83.78 % tiene acceso al mar, no obstante, solamente el 29.03 % de los países que pueden aprovechar la energía marina han invertido en ella y generado electricidad a partir de ella, por lo cual esa ventaja geográfica se ha desaprovechado.

Tabla 5
Cantidad de fuentes de energía renovable promedio

<i>País</i>	<i>Cantidad de fuentes de energía renovable</i>
Japón	4,000
Corea del Sur	4,474
Turquía	4,000
Austria	4,000
Bélgica	3,789
República Checa	3,947
Dinamarca	4,211
Estonia	3,421
Finlandia	4,000
Francia	5,000
Alemania	4,000
Grecia	3,895
Hungría	3,579

<i>País</i>	<i>Cantidad de fuentes de energía renovable</i>
Islandia	1,632
Irlanda	3,526
Italia	4,316
Letonia	3,316
Lituania	3,316
Luxemburgo	3,947
Países Bajos	4,158
Noruega	4,473
Polonia	3,421
Portugal	4,316
Eslovaquia	3,263
Eslovenia	3,211
España	4,421
Suecia	4,474
Suiza	4,000
Reino Unido	4,947
Israel	3,000
Canadá	5,000
México	4,000
Estados Unidos	4,316
Australia	4,632
Nueva Zelandia	3,632
Chile	3,316
Colombia	3,789
OCDE	3,912

Fuente: Elaboración propia, con información de IRENA (2020).

Como se puede observar en la Tabla 5, en promedio los países han invertido en aproximadamente cuatro de las cinco fuentes de energía renovable revisadas en este estudio. Sin embargo, los países tienen grandes diferencias entre la diversificación y la especialización de pocas fuentes de energía, teniendo casos donde durante todos los periodos se han producido las cinco fuentes de energía renovable, como en Francia y Canadá, y países como Islandia, que en promedio ha producido en este periodo

con 1.63 fuentes de energía renovable. Por ello, se puede estudiar si la variedad de innovaciones intermedias tiene un impacto positivo sobre el crecimiento económico.

Metodología

En esta sección se realizarán los siguientes pasos metodológicos: primero se realizará una prueba de dependencia cruzada para identificar si en la muestra seleccionada los efectos sobre un país afectan a otro país dentro de la muestra, prueba que es necesaria para el siguiente paso, que es la elección de la prueba de raíz unitaria adecuada para identificar el grado de integración de las series de tiempo. Como tercer paso se realizarán pruebas de causalidad y, por último, se utilizarán las técnicas de panel autorregresivo con rezagos distribuidos para identificar los efectos de corto y largo plazo en las hipótesis planteadas.

Test de dependencia cruzada

Como en (Le y Sarkodie, 2020; Le y Van, 2020; Smolović, Muhadinovic, Radonjic, y Đurašković, 2020), que buscan identificar la relación entre la energía y el crecimiento económico, se utiliza un análisis de independencia cruzada para determinar el test de raíz unitario adecuado, aplicando el test de Pesaran, como derivación de la propuesta de Breush y Pagan (1980), la cual funciona cuando N es fijo y T tiende al infinito, pero generaría sesgo si T es finito y N es suficientemente grande; asimismo, el test de no dependencia cruzada propuesto por Pesaran (2004), además de resolver esta situación, sirve para datos en panel homogéneos o heterogéneos, modelos dinámicos y estacionarios, datos en panel balanceados o no balanceados.

$$CD_{LM} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T\hat{p}_{ij}^2 - 1)} \quad (1)$$

De acuerdo a Pesaran (2004), la prueba se debe modificar como sigue para el caso en el que la sección cruzada (N) sea más grande que la dimensión tiempo (T), esto es, (N>T).

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T \hat{p}_{ij}} \quad (2)$$

Pruebas de raíz unitaria

Seguido de la determinación de la dependencia cruzada, para entender realmente las propiedades de las variables de estudio, no se utilizarán las pruebas tradicionales de panel como en Levin, Lin y Chu (2002); Lm, Pesaran y Shin (2003) o Maddala y Wu (1999). Debido a que existe dependencia cruzada, se optará por el uso de la prueba de Pesaran aumentada de Dicky Fuller para sección transversal (CADF). La presencia de dependencia cruzada se puede resolver aumentando a la prueba estándar de Dickey Fuller con los promedios cruzados rezagados y las primeras diferencias de las series individuales (Pesaran, 2007).

La prueba de Pesaran CADF es

$$CADF = t_i(N, T) = \frac{\Delta y_i \bar{m}_w y_{i-1}}{\delta_j (y_i \bar{m}_w y_{i-1})^{1/2}} \quad (3)$$

Pruebas de causalidad

El siguiente paso es la determinación de la causalidad de las variables, como en (Busu, 2020; Latief, Kong, Peng y Javeed, 2020; Yang y Kim, 2020). Para ello se utiliza la prueba de causalidad en panel de Dumitrescu-Hurlin, el cual tiene como función principal determinar la causalidad en panel de datos heterogéneos. Este tiene tres ventajas comparado con otras pruebas de causalidad: (i) la consideración de que existe dependencia cruzada; (ii) el tiempo y el tamaño de la sección transversal comparada de forma relativa es irrelevante, no importa cuál sea más grande si (N<T) ó (N>T); y (iii) tiene la ventaja de que funciona bien con paneles desbalanceados (Pesaran, 2004).

$$W_{N,T}^{Hnc} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_{i,T} \quad (4)$$

Debido al supuesto de que el estadístico de Wald W , son idénticos e independientemente distribuidos a través de las unidades, se puede utilizar la Z estandarizada cuando T es más grande de forma relativa que N (Lopez y Weber, 2017).

$$\bar{Z} = \sqrt{\frac{N}{2K} (\bar{W} - K)} \rightarrow_{n \rightarrow \infty}^d \mathcal{N}(0,1) \quad (5)$$

Asimismo, para el caso en que T es fijo y para $T > 5 + 3K$, la aproximación de la Z estandarizada sigue una distribución normal (Lopez y Weber, 2017). Dado que la mejor estimación es la de Z tilde, esta es la que se optará por utilizar.

$$\tilde{Z} = \sqrt{\frac{N}{2K} \frac{T-3K-5}{T-2K-3} \left(\left(\frac{T-3K-3}{T-3K-1} \right) (\bar{W} - K) \right)} \rightarrow_{n \rightarrow \infty}^d \mathcal{N}(0,1) \quad (6)$$

Modelo dinámico en panel autorregresivo con rezagos distribuidos (PARDL)

Por último, se elegirá un modelo de panel para lograr explicar los efectos que tienen las fuentes de energía renovable sobre el crecimiento económico, por lo cual se optará por la elección de un panel dinámico que utiliza las ventajas de la dimensión temporal, logrando identificar efectos de corto y de largo plazo, lo cual lo pone por encima de modelos clásicos estáticos como efectos agrupados, efectos fijos o aleatorios bajo mínimos cuadrados ordinarios (Loaiza y Ranciére, 2006).

Asimismo, cuando se tienen series de tiempo con diferentes niveles de integración, ya sean estacionarias, (0) en niveles, o (1) en diferencias, o cualquier combinación de ellos, el panel dinámico elegido es (PARDL), panel autorregresivo con rezagos distribuidos (Pesaran y Shin, 1999). Otro motivo por el cual es preferido es que agrupa todos los regresores (rezagados y no rezagados) en solo una variable (Nowak, Herzer, Vollmer y

Martínez, 2006), por lo cual esta metodología de panel dinámico es utilizada en (Busu, 2020; Yang y Kim, 2020; Etokpan *et al.*, 2020; Shub *et al.*, 2020), entre otros.

Para estimar el modelo ARDL se puede utilizar mediante *Pooled mean group* (PMG) cuando se espera que la relación de equilibrio de largo plazo entre los países sea similar (Smolović, Muhadinovic, Radonjic y Đurašković, 2020). El estimador de *Mean group* (MG) estima las regresiones para cada país por separado, no obstante, se requiere que además de que la dimensión de tiempo sea grande, la sección cruzada también sea grande al menos entre 20 y 30 países (Pesaran y Smith, 1995; Favara, 2003). Por último, en el estimador *Dynamic fixed effects* (DFE), al igual que en el estimador PMG, la pendiente y la varianza del error son iguales entre todos los países en el largo plazo, pero, además, los coeficientes del corto plazo tienen la misma restricción (Smolović, Muhadinovic, Radonjic y Đurašković, 2020). Cuando se tienen muestras pequeñas, este modelo está sujeto a que el sesgo de ecuaciones simultáneas de endogeneidad entre el término de error y la variable dependiente rezagada (Baltagi, Griffin y Xiong, 2000).

Para elegir entre modelos es posible si existe una diferencia sistemática entre dos estimadores, basados en consistencia y eficiencia, empleando una prueba de Hausman donde la hipótesis nula es que las diferencias entre los estimadores no son significativas, por lo cual, si no se rechaza, se prefiere el estimador PMG sobre los otros dos, no obstante, debido a que el tiempo de estudio se puede considerar corto, es posible que sea más relevante el estimador PMG (Samargandi, Fidrmuc y Ghosh, 2015).

El modelo P-ARDL base es:

$$\ln Y_{i,t} = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} \ln Y_{i,t-j} + \delta'_{ij} X_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

Donde $i=1,2,\dots$, que representa al país, $t=1,2,\dots$, para la dimensión tiempo, $\ln Y$ la variable dependiente, que es el logaritmo natural del Producto Interno Bruto per cápita, X para las variables explicativas, mientras que μ_i representa los efectos fijos y $\varepsilon_{i,t}$ es el componente de error.

Ya que la cointegración de variables no estacionarias es equivalente a un proceso de corrección del error (CE), el modelo ARDL se vuelve a parametrizar de la siguiente manera, siguiendo a (Engle y Granger, 1987).

$$\Delta \ln Y_{i,t} = \phi_i (\ln Y_{i,t-1} - \phi_i' X_{i,t}) + \sum_{j=1}^{p-1} \lambda_{ij}^* \ln Y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \delta_{ij}' \Delta X_{i,t-1} + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (8)$$

El parámetro $\phi_i = -(1 - \sum_{j=1}^p \lambda_{ij})$ es el término de velocidad de ajuste corrector del error, que captura la velocidad de ajuste de las desviaciones del término de relación de largo plazo. El valor de este término se espera que sea negativo bajo el supuesto de que las variables muestran un equilibrio de largo plazo. En caso de que este sea cero, muestra que no hay evidencia de una relación de largo plazo. Los parámetros $\lambda_{ij}^* = -\sum_{m=j+1}^p \lambda_{im}$ ($j = 1, \dots, p-1$) y $\delta_{ij}' = \sum_{m=j+1}^q \delta_{im}$ ($j = 1, \dots, q-1$) representan los coeficientes de corto plazo, mientras que el vector $\theta_i = \frac{\sum_{j=0}^q \delta_{ij}}{1 - \sum_{j=1}^p \lambda_{ij}}$ contiene la relación de largo plazo entre las variables (Smolović, Muhadinovic, Radonjic y Đurašković, 2020).

Resultados

Tabla 6
Test de no dependencia cruzada

	Z	Valor P
cd	8.5086	0.000***

cd: Contraste de dependencia transversal de Pesaran (2004).
Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la Tabla 6 muestra que la hipótesis nula de no dependencia cruzada se rechaza a un nivel de 1 %. Esto significa que existe una alta dependencia entre los países de la OCDE, este resultado sirve para evitar utilizar las pruebas de raíz unitaria de panel tradicionales que generarían una interpretación sesgada.

Tabla 7
Pruebas de raíz unitaria

<i>Pesaran's cross-sectional augmented dickey-fuller (CADFT) test result</i>				
	Constante		Constante y tendencia	
	Valor T	Valor P		
logY	-4.8818	0.000***	-4.8783	0.000***
Δ logY	-3.96	0.009***	-3.9557	0.001***
logK	-3.2145	0.082*	-3.1163	0.026**
Δ logK	-2.8433	0.169	-2.7345	0.064*
logL	-3.3637	0.057*	-3.272	0.016**
Δ logL	-3.3865	0.054*	-3.2936	0.016**
logH	-5.2294	0.000***	-5.0985	0.002***
Δ logH	-6.72	0.000***	-6.5665	0.000***
logE	-6.3678	0.000***	-6.3644	0.000***
Δ logE	-4.4379	0.001***	-4.436	0.000***
logS	-6.8715	0.000***	-6.8519	0.000***
Δ logS	-5.3161	0.000***	-5.2942	0.000***
logB	-5.6221	0.000***	-5.622	0.000***
Δ logB	-5.5068	0.000***	-5.5061	0.000***
logM	-5.747	0.000***	-5.7567	0.000***
Δ logM	-6.1113	0.000***	-6.0315	0.000***
logNR	-4.3286	0.003**	-4.2423	0.000***
Δ logNR	-1.8557	0.5853	-1.728	0.365

Δ hace referencia a las series diferenciadas, ***,** y * es el nivel de significancia para 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla anterior se puede observar en primer lugar que para todas las variables se rechaza la hipótesis nula de existencia de una raíz unitaria, ya sean en niveles o con sus primeras diferencias, asimismo se puede observar que no todas las series son estacionarias al mismo nivel, teniendo el caso de variables como la producción de energía no renovable, que en niveles es estacionaria (0), mientras que en diferencias es no estacionaria (1), así como la formación de capital bruto fijo que tanto con constante, como con constante y tendencia, son estacionarias en niveles, mientras

que esto con su primera diferencia solo se cumple cuando se hace la prueba con constante y tendencia, ya que únicamente con constante no se puede rechazar la hipótesis nula de raíz unitaria. Lo cual comprueba que el mejor modelo para utilizar en este caso es el PARDL.

Tabla 8
Pruebas de causalidad de panel Dumitrescu-Hurlin

<i>Hipótesis nula</i>	<i>Z tilde</i>	<i>P value</i>
$\ln Y \ln H$	-1.8354	0.066*
$\ln H \ln Y$	-3.3892	0.000***
$\ln Y \ln E$	-3.5993	0.000***
$\ln E \ln Y$	-3.7216	0.000***
$\ln Y \ln S$	-2.1627	0.031**
$\ln S \ln Y$	-0.10899	0.9132
$\ln Y \ln B$	-1.9893	0.04667**
$\ln B \ln Y$	-3.5937	0.000***
$\ln Y \ln M$	-0.55019	0.5822
$\ln M \ln Y$	-1.5956	0.1106
$\ln Y \ln NR$	0.35053	0.7259
$\ln NR \ln Y$	-3.4284	0.000***

***, ** y * es el nivel de significancia para 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 8 se puede observar que para todas las energías renovables se cumple la hipótesis de retroalimentación, exceptuando el caso de la energía marina, en la cual se identifica la hipótesis de conservación, siendo que únicamente el crecimiento económico causa la producción de esta fuente de energía renovable. Asimismo, también la energía no renovable tiene una relación bidireccional con respecto al crecimiento económico. No obstante, se debe recordar que esta fuente de energía ha venido disminuyendo como porcentaje del total de fuentes de energía, y al observar el signo de esta relación se puede observar que esta disminución de producción ha servido para fomentar el crecimiento. Siguiendo con los signos, es necesario recalcar que únicamente la producción de energía solar tiene un signo positivo.

Tabla 9

PARDL para la OCDE, mediante los estimadores PMG, MG y DFE

		<i>pmg</i>		<i>mg</i>		<i>dfe</i>	
LR		Coef		Coef		Coef	
	LogL	-0.6481401	***	1.484787		-0.4168652	***
		(0.0387794)		(1.407312)		(0.1155417)	
	LogK	0.4058644	***	0.3845073	***	0.4727514	***
		(0.0161436)		(0.1372593)		(0.0389397)	
	LogH	-0.0168416		0.1292235		-0.0009627	
		(0.0109411)		(0.0964822)		(0.0108355)	
	LogE	0.0191214	***	-0.029352		0.0110377	***
		(0.0010734)		(0.0217696)		(0.0035586)	
	LogS	0.0045752	***	0.0266758	**	0.0051301	**
		(0.000708)		(0.0110168)		0.0025703	
	LogB	0.0592414	***	-0.0846113		0.004946	
		(0.0030875)		(0.0713226)		0.0053971	
	LogM	-0.0016475		-0.0010422		0.0034156	
		(0.0013081)		(0.0028626)		0.0039012	
	LogNR	0.0075638		0.0615849		-0.0170121	***
		(0.0062544)		0.2441238		0.0062829	
SR							
	ce	-0.1929585	***	-0.2683793		-0.1413335	***
		0.053963		0.376613		0.0156735	
	LogL.1	0.086972		-0.1285505		-0.0038265	
		0.0656357		0.3531467		0.0554565	
	LogK.1	0.1487673	***	0.239468	*	0.1545826	***
		0.024442		0.1234559		0.0089007	
	LogH.1	0.0198296	*	0.0092387		0.0016032	
		0.0107132		0.0308529		0.0020363	
	LogE.1	-0.0029199		-0.0198335		-0.0004851	
		0.0044928		0.0202916		0.0007245	
	LogS.1	-0.0024437		-0.0268558	**	-0.0020241	**
		0.0033908		0.0110442		0.0008295	
	LogB.1	-0.002011		0.0831071	**	-0.0008714	
		0.0069204		0.0403825		0.0008357	

		<i>pmg</i>		<i>mg</i>		<i>dfe</i>	
SR							
	LogM.1	0.0003914		-0.0003084		-0.0010821	
		0.0006379		0.0058494		0.0009381	
	LogNR.1	0.058051	**	-0.0290741		0.0014643	
		0.0224985		0.0852567		0.0009793	
	Constante	0.7889688	***	-0.7385021		0.3110378	***
		0.2188028		4.022647		0.1052518	
	Log Likelihood	2718.324					
	N. Observaciones	666					
	N. Grupos	37					
	Hausman			-22.31		0	

Los valores dentro de paréntesis son los errores estándar de cada variable, mientras que ***,** y* es el nivel de significancia para 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, mediante STATA.

De la Tabla 9 se puede observar que el mejor modelo de explicación es el PMG, debido a que el estadístico Hausman en los dos casos es menor que una ji cuadrada con 2 grados de libertad y al 5 % de significancia que es de 5.991, la prueba en ocasiones puede generar un valor negativo de ji cuadrada cuando existen pocos individuos (menos de 50), lo que debe ser una prueba fuerte para no rechazar la hipótesis nula (Stata, 447, 2005). Dentro de los resultados se puede observar que estas variables tienen una relación de cointegración de largo plazo, ya que el coeficiente corrector del error es significativo, negativo y menor a 2. En la relación de largo plazo son significativas las variables de control, como es de esperar, asimismo, entre las fuentes de energía solo las renovables, bioenergía, solar y eólica, son significativas y de signo positivo.

Asimismo, las relaciones de corto plazo, en este modelo únicamente es significativa la variable de formación bruta de capital dentro de las de control, y, en cambio, los efectos de producción de energía no renovable e hidroeléctrica son significativos y positivos. Con lo cual se puede comprobar la primera hipótesis planteada, donde las fuentes de energía tienen diferentes efectos en el crecimiento económico en el corto y largo plazo.

Tabla 10
 PARDL comparativas con las variables geográficas

		<i>Horas de sol bajas</i>		<i>Horas de sol altas</i>		<i>Acceso al mar</i>	
<i>LR</i>		<i>Coef</i>		<i>Coef</i>		<i>Coef</i>	
	LogL	-0.4903133	***	-0.8956742	***	-0.4221913	***
		0.0541048		0.1088971		0.064722	
	LogK	0.4690369	***	0.6309238	***	0.4791372	***
		0.0199543		0.0398173		0.0166307	
	LogH	-0.036181	***	0.0907918	***	0.026491	***
		0.0119866		0.02645		0.0091777	
	LogE	0.0042855	***	0.0176727	***	0.0024463	
		0.0013331		0.0009352		0.0026255	
	LogS	0.0062626	***	0.0067179	***	0.0152032	***
		0.0013148		0.0006372		0.0017663	
	LogB	0.0637915	***	0.0407175	***	-0.0038068	
		0.0064035		0.0037987		0.0047294	
	LogM	-0.003776	*	0.0194144	***	0.0115308	***
		0.0021637		0.0053723		0.0010558	
	LogNR	0.034042	***	0.080578	*	0.0650432	***
		0.0096296		0.048314		0.0093076	
<i>SR</i>							
	ce	-0.1398989	**	-0.1275418	***	-0.1901346	***
		0.0709288		0.042322		0.0388283	
	LogL.l	0.0593823		0.0733217		0.1068165	
		0.0963117		0.1229643		0.0677903	
	LogK.l	0.1521347	***	0.1490011	***	0.14374	***
		0.033238		0.0281119		0.0203211	
	LogH.l	0.0197183		0.0102262		0.0169803	
		0.0127054		0.014031		0.0113025	
	LogE.l	0.0064761		-0.0118489		-0.0034533	
		0.0042997		0.0080736		0.0040333	
	LogS.l	-0.0010406		-0.0030696		-0.0053931	*
		0.0036634		0.0021467		0.0031492	
	LogB.l	-0.0049316		0.0071579		0.0023644	

		<i>Horas de sol bajas</i>		<i>Horas de sol altas</i>		<i>Acceso al mar</i>	
<i>SR</i>							
		0.0087287		0.0071708		0.0060058	
	LogM.1	0.0009247		-0.0004869		0.000128	
		0.0010029		0.0006354		0.0008101	
	LogNR.1	0.055527	**	0.0631396		0.0453473	**
		0.025842		0.0472368		0.0214413	
	Constante	0.3324076	**	0.2566468	***	0.2599778	***
		0.1557029		0.0832143		0.053057	
	Log Likelihood	1754.843		995.4981		2283.911	
	N. Observaciones	432		234		558	
	N. Grupos	24		13		31	

Los valores dentro de paréntesis son los errores estándar de cada variable, mientras que ***,** y* es el nivel de significancia para 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, mediante STATA.

Para obtener los resultados anteriores se siguió la misma secuencia, pero ahora solo se presentan los resultados finales. Dentro de las muestras, se puede observar que en aquellos países que tienen mayor cantidad de horas de sol promedio, la producción de energía solar tiene un mayor impacto sobre el crecimiento económico con un coeficiente de 0.00671, en comparación al 0.00626 de los países con menor cantidad de horas promedio. Con lo cual se puede contrarrestar la segunda hipótesis planteada, donde la zona geográfica medida con las horas de sol promedio tiene una relación directa con el impacto de las energías renovables en el crecimiento económico. Bajo la muestra utilizada con los países que tienen acceso al mar, se puede observar cómo en los efectos de largo plazo la energía marina es significativa y de signo positivo, contrastando con la tercera hipótesis planteada, donde la variable geográfica de acceso al mar tiene una relación directa con el impacto de las energías renovables en el crecimiento económico.

Tabla 11
 PARDL para cantidad de fuentes de energía

		<i>Cantidad de fuentes de energía menor</i>		<i>Cantidad de fuentes de energía mayor</i>	
LR		Coef		Coef	
	logL	-0.2527749	*	-0.0774094	
		0.140146		0.0859829	
	LogK	0.6131853	***	0.3358866	***
		0.0368308		0.0253086	
	LogR	-0.0490412	**	0.0446845	***
		0.0202799		0.0087974	
	LogNR	-0.1186891	***	0.0599712	***
		0.0172879		0.021826	
SR					
	ce	-0.1170462	***	-0.1782309	***
		0.0283032		0.040352	
	logL.1	0.1360235		-0.1220806	*
		0.1107623		0.069741	
	LogK.1	0.1450735	***	0.1666758	***
		0.0212736		0.0237634	
	LogR.1	0.0271853	*	0.0200164	*
		0.0146506		0.0113364	
	LogNR.1	0.0132589		0.0580173	**
		0.0210109		0.0271194	
	Constante	0.0952953	***	0.0956673	***
		0.0240654		0.0255013	
	Log Likelihood	994.901		1590.701	
	N. Observaciones	270		396	
	N. Grupos	15		22	

Los valores dentro de paréntesis son los errores estándar de cada variable, mientras que ***,** y* es el nivel de significancia para 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.
 Fuente: Elaboración propia, mediante STATA.

De la Tabla 11 se puede observar que en la cantidad de fuentes de energía renovable existe una clara diferencia; en los países con menor cantidad de fuentes de energía renovable, sus efectos sobre el crecimiento económico

son negativos en largo plazo. Mientras que en los países que tienen una mayor cantidad de fuentes de energía renovable, sus efectos son positivos y significativos tanto en el corto como en el largo plazo, con lo cual se puede comprobar la cuarta hipótesis, de que la variedad de innovaciones medida con las fuentes de energía renovable impulsa al crecimiento económico.

Discusión y conclusiones

El objetivo principal de este estudio es analizar el impacto de la producción de energías renovables y no renovables en el crecimiento económico con información de bases de datos recientes para los 37 países de la OCDE. De acuerdo con los resultados obtenidos del PARDL, se muestra que existen relaciones de largo plazo con la producción de energía solar, eólica y bioenergía, como en los resultados encontrados por (Busu, 2020; Yang y Kim, 2020): La diferencia es que para esta muestra la energía hidroeléctrica no resultó significativa, mientras que a corto plazo sí fue positiva y significativa, al igual que en el caso de las energías no renovables, por lo cual se considera que las energías renovables de mayor crecimiento en los últimos periodos no deberían ser evaluadas en el corto plazo, sino por sus impactos en el largo plazo, conclusiones similares a las encontradas por (Latief, Kong, Peng y Javeed, 2020).

Por su parte, relacionado a los objetivos secundarios sobre conocer la influencia de variables geográficas en el crecimiento económico, de acuerdo a los datos obtenidos de los PARDL de submuestras, se pudo identificar que el acceso al mar tiene un impacto positivo sobre el crecimiento económico, resultados similares a los encontrados en (Radelet y Sachs, 1998). Sin embargo, ellos consideraban los costos extra en que incurre un país que no tiene acceso al mar; por su parte, este estudio identifica esta falta de acceso al mar como una restricción que imposibilita la producción de energía marina.

En cuanto a las horas promedio de sol, que es la segunda variable geográfica analizada, también se identificó que tiene una relación positiva, siendo que la energía solar tiene un mayor impacto en aquellos países

que tienen mayor cantidad de horas de sol promedio, resultados similares a (Kazaz y Adiguzel, 2019). Sin embargo, ese estudio solo mostró que en aquellas ciudades de Turquía que tienen mayor cantidad de horas de sol se produce mayor cantidad de energía eléctrica, en este caso ese incremento se ve reflejado en un mayor impacto del crecimiento económico. Por último, de los resultados obtenidos en el PARDL de las submuestras se identificó que la mayor cantidad de innovaciones tiene un impacto positivo sobre el crecimiento económico, como se esperaba teóricamente en (Romer, 1990).

Dentro de otros resultados interesantes, se identificaron las relaciones de causalidad, donde se identificó la hipótesis de retroalimentación para la producción de energía hidroeléctrica, eólica, solar y bioenergía, tal como se identificó en (Busu, 2020; Latief *et al.*, 2020; Usmane *et al.*, 2020; Pérez *et al.*, 2020). Mientras que para el caso de la energía no renovable la hipótesis que se identificó es la de conservación, y para la producción de energía marina la hipótesis de neutralidad.

La aportación de este artículo tiene que ver con que no se había investigado la relación de variables geográficas, las energías renovables y el crecimiento económico, así como la prueba de que la variedad de productos es una buena explicación de los patrones de crecimiento y la diferencia entre los países. Adicionalmente, se identifican los efectos diferenciados por fuente de energía renovable para la base de datos de la OCDE. Dentro de las limitaciones del trabajo se halla que al ser poco explorada la energía marina, a pesar de tener la posibilidad de producción no todos los países pueden utilizar su efecto. Además, al no contar con series de tiempo de las horas de sol por país, únicamente se desagrega por medio de subgrupos.

Este trabajo deja abiertas líneas de investigación que puedan relacionar otras variables geográficas y su relación con las energías renovables. Estas pueden ser: la distribución de llanuras y montañas; la relación con la fuerza del viento, los ríos y lagos; o su relación con la producción de energía hidroeléctrica, entre otras.

Referencias bibliográficas

- Aghion, P. y Howitt, P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 60(2), 323-351. doi:10.2307/2951599
- Apergis, N. y Payne, J. (2009). Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy Economics*, 31, 2, 211-216.
- Arrow, K. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*. Princeton University Press, 609-626. 0-87014-304-2.
- Atems, B. y Hotaling, C. (2018). The effect of renewable and nonrenewable electricity generation on economic growth. *Energy Policy*, 112, 111-118. 10.1016/j.enpol.2017.10.015
- Ayres, R. y Kneese, A. (1969). Production, Consumption, and Externalities. *American Economic Review*, 59, 3, 282-97.
- Balitsky, P; Bacelli, G. y Ringwood, J. (2014). Control-influenced layout optimization of arrays of wave energy converters. *ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*.
- Baltagi, B; Griffin, J. y Xiong, W. (2000). To pool or not to pool: Homogeneous versus heterogeneous estimators applied to cigarette demand. *Review of Economics and Statistics*, 82(1), 117-126.
- Banco Mundial (2020). Consumo de energía eléctrica (KWh per cápita). Tomado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC>
- (2021). Banco de datos: Indicadores del Desarrollo Mundial. Recuperado de: <https://databank.bancomundial.org/reports.aspx?source=2&series=NE.GDI.TOTL.ZS&country=>
- Baumgärtner, S. (2004). Thermodynamic models. *Modelling in Ecological Economics*. P. Safonov & J. Proops, Eds.: 102-129. Edward Elgar. Cheltenham.
- BBC News Mundo (2018). Bolivia sin mar: ¿realmente no tener una salida marítima perjudica a la economía de un país? Recuperado de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45751486>
- Breusch, T. y Pagan, A. (1980). The Lagrange multiplier test and its application to model specification in econometrics. *Review of Economic Studies*, 47, 239-253.
- Brock, W. y Taylor, M. (2010). The Green Solow model. *Journal of Economic Growth*, 15, 127-153. 10.1007/s10887-010-9051-0

- Broda, C.; Greenfield, J. y Weinstein, D. (2006). From Groundnuts to Globalization: A Structural Estimate of Trade and Growth, 12512, *NBER Working Papers*, National Bureau of Economic Research.
- Busu, M. (2020). Analyzing the Impact of the Renewable Energy Sources on Economic Growth at the EU Level Using an ARDL Model. *Mathematics*, 8, 1367. <https://doi.org/10.3390/math8081367>
- Consejo de Energía Mundial (2016). World Energy Scenarios 2016. Recuperado de: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World-Energy-Scenarios-2016_Full-Report.pdf
- Esquivel, G. (2000). Geografía y desarrollo económico en México. Inter-American Development Bank. Banco Interamericano de Desarrollo. Latin American Research Network. Red de Centros de Investigación. *Research Network Working paper 389*.
- Etokakpan, M.; Solarin, S. y Yorucu, V. (2020) Modeling natural gas consumption, capital formation, globalization, CO₂ emissions and economic growth nexus in Malaysia: Fresh evidence from combined cointegration and causality analysis. *Energy Strategy Reviews*, 31, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100526>
- Gallup, J. L.; Sachs, J. y Mellinger, A. (1999). Geography and Economic Development. Annual World Bank Conference on Development Economics 1998. Washington, D.C. Estados Unidos: Banco Mundial.
- Garni, H.; Kassem, A.; Awasthi, A.; Komljenovic, D. y Al-Haddad, K. (2016). A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 16, 137-150.
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge.
- Hall, C.; Cleveland, C. y Kaufmann, R. (1986). *Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process*. Wiley Interscience, Nueva York.
- Hall, C.; Tharakan, P.; Hallock, J.; Cleveland, C. y Jefferson, M. (2003). Hydrocarbons and the evolution of human culture. *Nature*, 426, 318-322.
- Hicks, J. (1932). *The Theory of Wages*. Macmillan.
- IRENA (2020). Statistics Time Series. Recuperado de: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series>
- Islam, M. y Hasanuzzaman, M. (2020). Introduction to energy and sustainable development. *Energy for Sustainable Development*, 1-18.

- Kazaz A. y Adiguzel Istil, S. A. (2019). Comparative Analysis of Sunshine Duration Effects in terms of Renewable Energy Production Rates on The LEED BD + c Projects in Turkey. *Energies*, 12(6), 1116. <https://doi.org/10.3390/en12061116>
- Kubiszewski, I.; Cleveland, C. y Endres, P. (2010). Meta-analysis of net energy return for wind power systems. *Renewable Energy*, 35, 218-225.
- Latief, R.; Kong, Y.; Peng, Y. y Javeed, S. (2020). Conceptualizing Pathways of Sustainable Development in the Union for the Mediterranean Countries with an Empirical Intersection of Energy Consumption and Economic Growth. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 5614. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155614>
- Lee, C. y Chang, C. (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics*, 30(1), 50-65.
- Levin A.; Lin C. y Chu, C. (2002). Unit root test in panel data: asymptotic and finite sample properties. *Journal of Econometrics*, 108, 1-24.
- Lm, K.; Pesaran, M. y Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogenous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.
- Loaiza, N. y Ranciere, R. (2006). Financial development, financial fragility and growth. *Journal of Money, Credit and Banking*, 38(4), 1051-1076.
- Maddala, G. y Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 631-52.
- Malthus, T. (1978). *An essay on the principle of population. Printed for J. Johnson, in St. Paul's Church-Yard.*
- Marinaş, M.; Dinu, M.; Socol, A. y Socol, C. (2018). Renewable energy consumption and economic growth. Causality relationship in Central and Eastern European countries. *PLOS ONE*, 13(10), e0202951. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202951>
- Miranda, R.; Hausler, R.; Lopez, R.; Glaus, J. y Pasillas-Diaz, J. (2020). Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis in North America's Free Trade Agreement (NAFTA) Countries, *Energies*, MDPI, *Open Access Journal*, 13(12), 1-13.
- Murshed, M. (2018). Does improvement in trade openness facilitate renewable energy transition? Evidence from selected South Asian economies. *South Asia Economic J*, 19(2), 151-17.
- Naciones Unidas UNFCC (1997). Aprobación del protocolo de Kyoto. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf
- (2009). Aprobación del Acuerdo de Copenhague. Disponible en: http://unfccc.int/files/meetings/cop15_cph_aug.pdf

- (2015). Aprobación del Acuerdo de París. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>
- Nepal, R. y Pajja, N. (2019). Energy security, electricity, population and economic growth: the case of a developing South Asian resource-rich economy. *Energy Pol.*, 132, 771-781.
- Nordhaus, W. (1973). The allocation of energy resources. *Brookings Papers on Economic Activity*, 3, 529-570.
- (1992). The 'DICE' Model: Background and Structure of a Dynamic Integrated Climate-Economy Model of the Economics of Global Warming, *Cowles Foundation Discussion Papers 1009*, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.
- Nowak, D.; Herzer, D.; Vollmer, S. y Martínez, I. (2006). Problems in applying dynamic panel data models: Theoretical and empirical findings, *IAI Discussion Papers*, No. 140, Georg-August-Universität Göttingen, IberoAmerica Institute for Economic Research (IAI), Göttingen.
- Organización de Naciones Unidas ONU (2015). Agenda 2030. Disponible en:
- Ozcan, B.; Tzeremes, P. y Tzeremes, N. (2020). Energy consumption, economic growth and environmental degradation in OECD countries. *Economic Modelling*, 84, 203-213. 10.1016/j.econmod.2019.04.010
- Pérez, I.; García, A. y Maldonado, J. (2020). Energy Transition Towards a Greener and More Competitive Economy: The Iberian Case. *Sustainability*, 12, 3343. <https://doi.org/10.3390/su12083343>
- Pesaran, H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. *Cambridge Working Papers in Economics*, 0435. University of Cambridge, Faculty of Economics. SSRN: <https://ssrn.com/abstract/4572504>
- (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-sectional dependence. *J Appl Econ.*, 22, 265-312.
- Pesaran, H. y Shin, Y. (1999). An autorregressive distributed lag modeling approach to cointegration in econometrics and economic theory in the 20th Century. *Ragnar Frisch Centennial Symposium*, 371-413. Cambridge University Press.
- Piłatowska, M.; Geise, A. y Włodarczyk, A. (2020). The Effect of Renewable and Nuclear Energy Consumption on Decoupling Economic Growth from CO₂ Emissions in Spain. *Energies*, 13, 2124. <https://doi.org/10.3390/en13092124>
- Pokrovski, V. (2003). Energy in the theory of production, *Energy*, 28, 8, 769-788.

- Radelet, S. y Sachs, J. (1998). *Shipping Costs, Manufactured Exports, and Economic Growth*. Cambridge, Estados Unidos: Harvard Institute for International Development. Documento mimeografiado.
- Raza, M.; Ahmed, A.; Alshebami, A. y Polyakova, A. (2020). Renewable energy use and its effects on environment and economic growth: Evidence from Malaysia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 50-57. 10.32479/ijee.10219
- Romer, P. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), 71-102.
- Sachs, J. D. y Warner, A. (1996). Natural Resource Abundance and Economic Growth. *National Bureau of Economic Research Working Paper No. 5398*. Cambridge, Estados Unidos: National Bureau of Economic Research.
- Samargandi, N.; Fidrmuc, J. y Ghosh, S. (2015). Is the Relationship Between Financial Development and Economic Growth Monotonic? Evidence from a Sample of Middle-Income Countries. *World Development*, 68, 66-81.
- Sarkodie, S. (2020). Causal effect of environmental factors, economic indicators and domestic material consumption using frequency domain causality test. *Environment*, 736. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139602>
- Singh, N.; Nyuur, R. y Richmond, B. (2019). Renewable Energy Development as a Driver of Economic Growth: Evidence from Multivariate Panel Data Analysis. *Sustainability*, 11(2418), 1-18. doi:10.3390/su11082418
- Smolović, J.; Muhadinovic, M.; Radonjic, M. y Đurašković, J. (2020). How does renewable energy consumption affect economic growth in the traditional and new member states of the European Union? *Energy Reports*, 6, 505-513. 10.1016/j.egy.2020.09.028
- Solow, R. (1956). A contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70, 1, 65-94.
- (1974). Intergenerational equity and exhaustible resources. *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 29-46.
- Stata (2005). *Reference manual A-J*. Stata Pres., Texas, 441-448.
- Stern, D. (1997). Limits to substitution and irreversibility in production and consumption: a neoclassical interpretation of ecological economics. *Ecological Economics*, 21, 197-215.
- (2010). The Role of Energy in Economic Growth. *USAEE-IAEE Working Paper*, 10-055.

- Sulub ,Y.; Hamid, Z. y Nazri, M. (2020). Renewable energy supply and economic growth in Malaysia: An application of bounds testing and causality analysis. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(3), 255-264. 10.32479/ijeep.8980
- Usman, M.; Kousar, R.; Yaseen, M. y Makhdum, M. (2020). An empirical nexus between economic growth, energy utilization, trade policy, and ecological footprint: a continent-wise comparison in upper-middle-income countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 38995-39018 10.1007/s11356-020-09772-3
- Weather&Climate (2021). Worldwide weather forecasts and climate information. Recuperado de: <https://weather-and-climate.com/>
- Yang, M. y Kim, J. (2020). Revisiting the Relation between Renewable Electricity and Economic Growth: A Renewable-Growth Hypothesis. *Sustainability*, 12, 3121. <https://doi.org/10.3390/su12083121>

CAPÍTULO 6

DESARROLLO FINANCIERO, APERTURA COMERCIAL Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN AMÉRICA DEL NORTE

ANTONIO RUIZ PORRAS
JAVIER EMMANUEL ANGUIANO PITA

Introducción

Los vínculos entre los sistemas financieros y el crecimiento económico han sido ampliamente estudiados desde la perspectiva teórica y empírica. En la literatura especializada existen varios estudios sobre el rol que ocupa el desarrollo financiero en el crecimiento económico desde el siglo pasado. En particular, el debate dentro de la literatura empírica se ha centrado en medir el desarrollo del sistema financiero y la dirección de causalidad entre este último y el crecimiento económico.

En las teorías contemporáneas del crecimiento se suele argumentar que los intermediarios permiten financiar las actividades de investigación y desarrollo y la inversión en capital humano (Tinoco, Torres y Venegas, 2008). Más aún, hay estudios que han sugerido diversas formas mediante las cuales se vincula el desarrollo financiero, la estructura de los sistemas financieros y el crecimiento económico (i.e., Fry, 1997; King y Levine, 1993; Levine, Loayza y Beck, 2000; Xu, 2009). Incluso hay quienes argumentan que las restricciones gubernamentales sobre el sistema financiero¹ restrin-

1 Las principales restricciones gubernamentales incluyen la imposición de límites a las tasas de interés, altos requerimientos de reservas y programas de restricción del crédito bancario.

gen el desarrollo financiero y el crecimiento de las economías (McKinnon, 1973; Shaw, 1973).

Los sistemas financieros permiten que haya crecimiento económico porque facilitan la movilización de los ahorros, la realización de pagos y el comercio internacional de bienes y servicios. Por esta razón, hay quienes argumentan que la existencia de un sistema financiero robusto y eficiente es un factor importante para el desarrollo de empresas manufactureras y de bienes comerciables (Andersen y Babula, 2008). La mayoría de los estudios empíricos vinculan el comercio internacional y el crecimiento económico a través de las hipótesis de las exportaciones (*export-led hypothesis*) y la hipótesis de las importaciones (*import-led hypothesis*) (i.e. Balassa, 1978; Greenaway, Morgan y Wright, 2002; Tyler, 1981).

Tradicionalmente, se argumenta que hay cuatro enfoques sobre el vínculo entre el desarrollo financiero y el crecimiento económico. El primero, conocido como enfoque de la oferta (*supply-leading*), sugiere que el desarrollo financiero tiene un impacto positivo en el crecimiento económico.² El segundo, conocido como enfoque de la demanda (*demand-following*), sugiere que el sistema financiero solamente reacciona a los cambios en el sector real.³ El tercer enfoque sugiere que hay efectos bidireccionales entre el desarrollo financiero y el crecimiento económico.⁴ El último enfoque, a diferencia de los anteriores, sugiere que no existe ningún tipo de relación entre los sectores financiero y real.⁵

2 De acuerdo con este enfoque, existe un efecto robusto que va de la intermediación financiera al crecimiento económico, y tiene lugar debido al aumento en la eficiencia de la acumulación de capital (Goldsmith, 1969), o por el aumento en la tasa de ahorro y por tanto de la inversión (Shaw, 1973). Este enfoque también es similar al propuesto por Schumpeter (1911), Roubini y Sala-i- Martin (1992) y King y Levine (1993), entre otros.

3 Cabe destacar que el enfoque de la oferta no niega que pueda existir una relación de causalidad inversa del crecimiento económico al sistema financiero; de hecho, sugiere que el vínculo entre desarrollo financiero y crecimiento es robusto a tal inversión de la causalidad. Para un ejemplo de esto véase (Friedman y Schwartz, 1963).

4 Evidencias de relaciones de causalidad bidireccional pueden encontrarse en Demetriades y Hussein (1996) y Greenwood y Smith (1997).

5 Lucas (1988) rechaza la existencia de una relación entre el sector financiero y el crecimiento económico. Este autor sugiere que “los economistas sobrevaloran la importancia del sector financiero en el crecimiento económico”.

La entrada en vigor del Acuerdo de Libre Comercio en América del Norte (TLCAN) sucedida en el año 1994 supone uno de los avances más importantes en materia de integración económica a escala mundial. Formalmente, el acuerdo plantea el establecimiento de una zona de libre comercio, la apertura y protección de flujos financieros y, en cierto grado, el establecimiento de un marco legal y regulatorio común entre los gobiernos de Canadá, Estados Unidos y México. La principal característica que distingue al acuerdo es que este se encuentra conformado por países con grados distintos de desarrollo económico y financiero.

En este contexto, a más de veinte años de haber entrado en vigor el acuerdo, el desarrollo de estudios que evalúen los efectos del desarrollo financiero y la apertura comercial entre economías con distintos grados de desarrollo continúa siendo relevante. Particularmente, dentro de la literatura especializada la mayoría de los trabajos no logran un consenso sobre la medida ni la metodología más adecuada para evaluar el vínculo entre el nivel de desarrollo financiero y su dirección de causalidad con respecto al crecimiento económico. Más aún, son pocos los estudios que analizan de manera simultánea bloques de países que cuenten con algún tipo de acuerdo de integración económica, ya sea formal o informal.

El objetivo de este estudio es evaluar el vínculo entre el desarrollo financiero, la apertura comercial y el crecimiento económico de Canadá, Estados Unidos y México utilizando paneles de datos anuales para el periodo 1990-2017. Asimismo, este trabajo busca contribuir a la literatura empírica en dos aspectos relevantes. En primer lugar, se analizan tres economías muy interrelacionadas, pero con importantes asimetrías en cuanto a su grado de desarrollo económico y financiero, particularmente en el caso de México. En segundo lugar, se investiga la dirección de causalidad entre el sistema financiero, la apertura comercial y la producción. Este último aspecto resulta especialmente útil y ha sido relativamente poco estudiado por la literatura existente.

La metodología del estudio se sustenta en análisis en panel de tipo estadístico, de cointegración y de causalidad. El análisis estadístico se usa para caracterizar la dinámica de las variables y determinar su orden de integración. El análisis de cointegración se emplea para determinar estadísticamente la existencia de relaciones de largo plazo entre las varia-

bles. Asimismo, se estiman los vectores de cointegración que representan dichas relaciones. Finalmente, el análisis de causalidad para paneles heterogéneos se emplea para caracterizar las direcciones de causalidad de las variables estudiadas.

Este estudio se organiza en siete secciones. La sección dos presenta una breve descripción sobre las características de las economías de América del Norte. La sección tres presenta la revisión de la literatura concerniente al vínculo entre crecimiento económico, desarrollo financiero y apertura comercial. La sección cuatro presenta la metodología de análisis empleada en esta investigación. La sección cinco incluye la descripción de la base de datos y la estadística descriptiva. La sección seis presenta los resultados del análisis econométrico y la modelación. Finalmente, la sección siete sintetiza los principales hallazgos y las conclusiones de este estudio.

Características de las economías de América del Norte

Históricamente, las asimetrías han caracterizado a las economías y mercados financieros de América del Norte. Si bien México ha exhibido un rápido crecimiento desde la década de los noventa, todavía hay disparidades en la región. La Tabla 1 presenta una descripción general del nivel del Producto Interno Bruto real per cápita, el grado de desarrollo de los mercados financieros evaluado a partir del agregado monetario M3 y del crédito total otorgado al sector privado no financiero como proporción del PIB.

La Tabla 1 muestra que la economía de México es la más pequeña de la región del TLCAN. Su PIB real per cápita registró un valor real de US\$16,934.7 en 2017. Dicho monto es 2.55 veces menor que el monto registrado en el mismo año por la economía de Canadá (US\$43,149.8) y 3.1 veces menor que el registrado por Estados Unidos (US\$ 53,187.5). Asimismo, la economía mexicana presentó el menor dinamismo durante el periodo 1990-2015 al registrar una tasa de crecimiento real promedio del PIB per cápita de 4.86 %, mientras que la tasa de crecimiento de Canadá y Estados Unidos fue de 6.63 % y 7.49 %, respectivamente.

Tabla 1

Características económicas de los países que integran el TLCAN

Variable	1990	1995	2000	2010	2015	Tasa de crecimiento real promedio
<i>Producto Interno Bruto real per cápita (2011 USD PPP)</i>						
Canadá	31,299.7	32,226.2	37,431.9	40,699.4	43,149.5	6.63
Estados Unidos	37,070.9	39,485.7	45,997.0	49,479.3	53,187.6	7.49
México	13,354.5	13,111.5	15,682.8	15,716.0	16,934.7	4.86
<i>Agregado monetario M3 (% PIB)</i>						
Canadá	58.76	62.51	60.04	81.95	97.39	10.63
Estados Unidos	53.89	46.39	46.48	57.46	66.06	4.16
México	27.72	24.75	30.34	42.03	54.59	14.52
<i>Crédito total al sector privado (% PIB)</i>						
Canadá	138.20	142.90	147.50	179.00	208.10	8.53
Estados Unidos	124.10	120.30	134.80	158.40	147.90	3.57
México	26.40	49.50	25.10	29.80	39.70	8.50

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los valores del PIB real per cápita son contabilizados en dólares americanos a precios constantes de 2011 ajustados por paridad de poder adquisitivo (PPA). La variable de crédito total al sector privado contabiliza el crédito total otorgado al sector privado no financiero.

La diferencia en el tamaño de las economías también se refleja en el grado de desarrollo de sus mercados financieros. Como puede observarse en la misma Tabla 1, los niveles del agregado monetario M3 y del crédito total otorgado al sector privado como proporción del PIB de Canadá y Estados Unidos son más altos que los registrados en México. Por ejemplo, al finalizar el año 2015 la proporción del agregado monetario M3 con respecto al PIB en México fue de 54.59 %, mientras que en Canadá y Estados Unidos fue de 97.39 % y 66.06 %, respectivamente. De igual manera, durante el mismo periodo la proporción del crédito total al sector privado con respecto al PIB en México fue de 39.70 %, mientras que en Canadá y Estados Unidos fue de 208.10 % y 147.90 %, respectivamente.

La evidencia presentada sugiere elementos importantes a considerar para el estudio y la caracterización de las economías que conforman el TLCAN. En primer lugar, resulta importante considerar las diferencias en los tamaños y niveles de desarrollo de los mercados, ya que estos pueden ser factores benéficos o contraproducentes como motor del crecimiento económico, particularmente de la economía mexicana. Asimismo, la información presentada en la Tabla 1 señala ciertos avances en el grado de desarrollo financiero de México.

Revisión de la literatura

El estudio del vínculo entre el desarrollo financiero y el crecimiento económico ha sido ampliamente estudiado por la literatura teórica y empírica. Actualmente, el debate sobre la existencia de dicho vínculo y su dirección de causalidad sigue siendo controvertido. Particularmente, existen estudios que sugieren que el sector financiero conduce el crecimiento económico, y según otros, el crecimiento económico es el que explica el crecimiento del sector financiero. Asimismo, existen algunos otros estudios que sugieren una relación de causalidad bidireccional entre el sector financiero y el real, e inclusive existen algunos otros que sugieren que no existe ningún tipo de relación entre estos.

La hipótesis de liderazgo de la oferta (*supply-leading*) sugiere que el desarrollo financiero es una precondition necesaria para el crecimiento económico; consecuentemente, el sector financiero lidera al crecimiento económico y la relación de causalidad va del desarrollo financiero al crecimiento económico. Los defensores de esta hipótesis afirman que la cantidad y la composición de las variables que miden el desarrollo financiero inducen el crecimiento económico a través de incrementar directamente el ahorro bajo la forma de activos financieros, propiciando la formación de capital y, por tanto, el crecimiento económico (King y Levine, 1993).

Por el contrario, los defensores de la hipótesis de liderazgo de la demanda (*demand-following*) afirman que el sector financiero es liderado por el crecimiento económico y dicho sector tiene menor importancia en el crecimiento económico. En este contexto, el sector financiero es meramente un producto de o un resultado del sector real de la economía (Robinson, 1952). Esta hipótesis también argumenta que cuando una economía crece, emergen más instituciones, productos y servicios financieros en respuesta a la mayor demanda de servicios financieros. En consecuencia, el sector real de la economía crece, el sistema financiero se desarrolla al aumentar las oportunidades para adquirir liquidez para financiar inversiones y reducir el riesgo.

De acuerdo con la hipótesis de liderazgo de la demanda, la falta de instituciones financieras en los países en desarrollo es un indicador de la falta de demanda para sus servicios. Shan (2005) provee evidencia empí-

rica que refuerza la idea de este enfoque al mostrar que un sistema financiero que funciona bien y tiene un grado de apertura externa considerable no precede los considerables niveles de crecimiento económico de algunos países asiáticos, incluyendo China, Japón y Corea. Adicionalmente, el mismo autor argumenta que la última crisis económica en Asia ha generado más dudas sobre el argumento de que el desarrollo financiero siempre desempeña un rol positivo en el crecimiento económico.

Además de las hipótesis previamente señaladas, existen otras que consideran que el crecimiento económico y el desarrollo financiero son complementarios entre sí, ocasionando una relación de causalidad bidireccional entre la profundización financiera y el crecimiento económico (Blackburn y Hung, 1998; Greenwood y Smith, 1997). Los proponentes de esta hipótesis sugieren que el desarrollo financiero es indispensable para el crecimiento económico y, a su vez, el crecimiento económico inevitablemente requiere un sistema financiero eficiente. Sobra decir que existen algunos estudios que sugieren que no existe evidencia empírica que sustente la relación entre el desarrollo financiero y el crecimiento económico (i.e. De Gregorio y Guidotti, 1995).

Recientemente los estudios han comenzado a centrar su atención en el vínculo entre el comercio internacional y el desarrollo financiero (i.e. Baltagi *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2010). La literatura teórica sugiere que el interés personal de los grupos que se sienten amenazados por la liberalización del sistema financiero genera fuertes incentivos en estos para resistirse a su entrada y también para resistirse al desarrollo del sistema financiero (véase Baltagi *et al.*, 2009). De acuerdo con Rajan y Zingales (2003), cuando un país abre sus fronteras al comercio internacional y a los flujos de capital, es más probable que se beneficie de la apertura simultánea porque ambos ocasionan competencia y amenazan el interés personal de los grupos opositores.

Beck (2002) presenta evidencia que sugiere que aquellos países con sistemas financieros más desarrollados exhiben niveles de comercio mayores, sobre todo en industrias que dependen del financiamiento externo. Por otra parte, Svaleryd y Vlachos (2002) sugieren una relación económica significativa entre la política comercial y los mercados financieros con causalidad que va en ambas direcciones. Particularmente, estos

autores sugieren que un incremento en la apertura comercial detona la demanda de nuevos productos financieros. En este sentido, la apertura comercial podría estar vinculada con una mayor oferta de productos financieros más sofisticados, a partir de los cuales se esperaría que las instituciones financieras evolucionen.

La relación entre el desarrollo financiero y la apertura comercial permite concebir mecanismos más complejos de crecimiento y desarrollo económico. Por una parte, el incremento de la apertura comercial conlleva un incremento en el grado de desarrollo financiero, lo cual a su vez puede promover el crecimiento económico a través de un canal asignativo y otro acumulativo. Por otra parte, si el desarrollo financiero induce la apertura comercial, este puede subsecuentemente acelerar el crecimiento en donde la apertura comercial sea un factor de crecimiento. La apertura comercial puede inducir el crecimiento económico de varias maneras, por ejemplo, incrementado el nivel de especialización de un país, o afectando positivamente la difusión de la tecnología y la innovación.⁶

La literatura empírica se distingue particularmente por las medidas de desarrollo financiero⁷ y las técnicas estadísticas que emplean. Levine (1995) estudia la relación entre el desarrollo financiero y el crecimiento económico de 80 países empleando diversos indicadores de desarrollo financiero y técnicas de regresión de sección cruzada; sus resultados sugieren que los países con sistemas financieros más desarrollados para 1960 crecieron más rápidamente durante los siguientes 30 años en comparación con aquellos países con sistemas financieros menos desarrollados. Estos resultados sugieren una relación positiva entre el desarrollo financiero y el crecimiento económico.

Asteriou y Price (2002) estudian la relación entre el desarrollo financiero y el crecimiento económico a través de la estimación de una función

6 La evidencia empírica sugiere que la apertura comercial puede afectar positivamente el desempeño económico (i.e. Edwards, 1998; Harrison, 1996).

7 En este sentido vale la pena recuperar el argumento de Khan y Senhadji (2000), quienes señalan que las medidas basadas en agregados monetarios como M1 y M2 son el reflejo de la habilidad del sistema financiero para proveer servicios de transacciones, pero no de su habilidad de canalizar ahorradores con prestamistas, el cual sería realmente el papel del desarrollo financiero.

de producción agregada en la que relacionan el PIB real per cápita, la proporción de M2 con respecto al PIB agregado y el cociente entre capital y trabajo. Mediante un análisis de cointegración y causalidad, los autores encuentran evidencia a favor de la hipótesis de que el desarrollo financiero promueve el crecimiento económico en el caso particular del Reino Unido.

En un contexto similar al que se considera en este estudio, Romero de Ávila (2003) analiza el caso de la Unión Europea empleando técnicas de datos en panel controlando por efectos fijos, variables omitidas y los efectos del ciclo económico. Sus resultados sugieren que en el caso particular de la Unión Europea, la adopción de políticas encaminadas a favorecer el desarrollo del sistema financiero a través de la integración de los mercados y el aumento de la competencia es capaz de promover el crecimiento económico.

Por otra parte, Christopoulos y Tsionas (2004) analizan diez economías en vías de desarrollo mediante datos en panel empleando pruebas de cointegración de umbral (*Threshold cointegration*) y un modelo de corrección de errores (MCE). Los resultados del estudio permiten validar las hipótesis de la existencia de relaciones de equilibrio de largo plazo entre desarrollo financiero, el crecimiento económico y algunas otras variables de control; además de sugerir que la relación de causalidad va del desarrollo financiero hacia el crecimiento económico, pero no a la inversa.

En un contexto cercano a este estudio, Cermeño *et al.* (2016) emplean un análisis de series de tiempo para estudiar la influencia de la profundización financiera en el crecimiento económico y su volatilidad, para los casos de México y Estados Unidos. Los resultados de este estudio sugieren que, en el caso de Estados Unidos, la profundización financiera está relacionada con el crecimiento del producto real, pero no con la volatilidad de este último. Por el contrario, en el caso de México se encontró que la profundización financiera es propiciada por el crecimiento económico, pero no a la inversa. Además, se encontró que en el caso de México la profundización financiera reduce la volatilidad del crecimiento.

En síntesis, la revisión de la literatura sugiere que el vínculo entre el desarrollo financiero y el crecimiento económico ha sido estudiado desde diferentes perspectivas teóricas y empleando distintas técnicas

econométricas que van desde el análisis de series de tiempo hasta los modelos de datos en panel. Particularmente, la selección de la técnica empleada obedece al objetivo que persigue la investigación y los alcances propuestos. Una de las ventajas de utilizar las técnicas de datos en panel tiene que ver con la mayor robustez de las pruebas de raíces unitarias y de cointegración aun cuando se consideren muestras pequeñas.

Metodología de análisis

En este estudio se emplean datos en panel para analizar el vínculo entre el nivel de producción, el desarrollo financiero y la apertura comercial. La metodología del estudio se sustenta en análisis de tipo estadístico, de cointegración y de causalidad. El análisis estadístico se usa para caracterizar la dinámica de las variables y determinar su orden de integración. El análisis de cointegración se emplea para determinar estadísticamente la existencia de relaciones de largo plazo entre las variables. Asimismo, se estiman los vectores de cointegración que representan dichas relaciones. Finalmente, el análisis de causalidad se emplea para caracterizar las dinámicas de corto plazo de las variables estudiadas.

El análisis estadístico se sustenta en estadísticas descriptivas, pruebas de normalidad y de raíces unitarias en panel. Las estadísticas descriptivas y las pruebas de normalidad de Jarque-Bera se usan para caracterizar la dinámica de comportamiento de las variables estudiadas. Las pruebas de raíces unitarias y estacionariedad en panel se emplean para determinar el orden de integración de las series.⁸ Particularmente, en este estudio se emplean las pruebas de raíz unitaria común de Levin-Lin y Chu (LLC), de raíz unitaria individual de Maddala y Wu (ADF-Fisher), y de estacionariedad de Hadri.⁹

8 La correcta identificación del orden de integración de las variables analizadas es importante para evitar la modelación de correlaciones espurias.

9 Las pruebas de raíces unitarias LLC, ADF-Fisher y Hadri son aquellas propuestas por Levin-Lin y Chu (2002), Maddala y Wu (1999) y Hadri (2000).

La metodología de Fisher-Johansen requiere la estimación repetida de los estadísticos de la traza y del máximo eigenvalor. Estos estadísticos son obtenidos mediante la metodología de Johansen (1991). Suponiendo que existe un número fijo de relaciones de cointegración, los estadísticos de cointegración se estiman para dos diferentes modelos.¹⁰ En este contexto, aquí se estiman los estadísticos de la traza y el máximo eigenvalor para las series representativas del nivel de producción per cápita, desarrollo financiero, apertura comercial y formación bruta de capital fijo. Los *p-values*, π_i de cada estadístico estimado se usan para construir dos estadísticos combinados. El primer estadístico combina los *p-values* de los estadísticos de la traza de los dos modelos para los tres países estudiados. De igual manera, el segundo estadístico incluye los *p-values* de los tres estadísticos de máximo eigenvalor. Los estadísticos combinados se denominan estadísticos CT.¹¹

Las pruebas de cointegración de Maddala y Wu (1999) se evalúan con los estadísticos combinados de la traza y del máximo eigenvalor, suponiendo que existe un número fijo de relaciones de cointegración. De forma similar a la metodología de Johansen (1991), el número de pruebas de cointegración se iguala al número de variables estudiadas (cuatro). En este contexto, las hipótesis nulas de cada prueba de cointegración también refieren al número máximo de relaciones de cointegración hipotéticas que pudieran existir en el panel (máximo tres). Asimismo, los *p-values* de los estadísticos combinados, al igual que sus contrapartes para series de tiempo, también se estiman mediante los métodos de MacKinnon, Haug y Michelis (1999).

El análisis de cointegración se complementa con la estimación de las elasticidades de largo plazo del nivel de producción. Esta relación se estima mediante regresiones que usan las técnicas de Mínimos Cuadrados Totalmente Modificados (*Fully-Modified Ordinary Least Squares, FMOLS*), y Mínimos Cuadrados Dinámicos (*Dynamic Ordinary Least Squares, DOLS*),

10 El Modelo A considera la proporción del agregado monetario M3 con respecto al PIB como proxy de desarrollo financiero. Por otra parte, el Modelo B considera el crédito total al sector privado no financiero como variable proxy de desarrollo financiero.

11 Los estadísticos agrupados (combinados) se construyen y se distribuyen de la misma manera. Su formulación y distribución son, respectivamente, $CT = -2 \sum_{i=1}^3 \log(\pi_i)$ y $CT \sim \chi^2_6$.

siguiendo los enfoques de Pedroni (2001; 2004).¹² El uso de ambas técnicas se justifica en tanto que las aproximaciones mediante FMOLS y DOLS proporcionan estimadores de los coeficientes que son asintóticamente insesgados y normalmente distribuidos (Kao y Chiang, 2000; Pedroni, 2001). Particularmente, en este estudio se emplean los estimadores de medias de grupo. El número de rezagos y adelantos es determinado mediante el criterio de información de Schwarz.

Es importante señalar que la relación de largo plazo estimada mediante FMOLS y DOLS se considera como estadísticamente válida cuando se satisfacen las siguientes condiciones: 1. cuando las variables del panel de datos son I(1) y existen relaciones de cointegración; 2. cuando los parámetros β_i asociados a los vectores de cointegración son estadísticamente significativos; 3. cuando existe normalidad en los residuales. Particularmente, la primera condición es necesaria para evitar la estimación de correlaciones espurias.¹³ La segunda condición se evalúa mediante pruebas de significancia individual basadas en los estadísticos t de Student. La tercera se evalúa mediante la prueba de normalidad de Jarque-Bera. Por estas razones, aquí se reportan los *p-values* asociados a dichas pruebas estadísticas.

En este estudio se emplean regresiones que consideran el Producto Interno Bruto real per cápita (GDPP) como variable que depende del nivel de desarrollo financiero (FD),¹⁴ la apertura comercial (TOP) y la formación bruta de capital fijo (FBCF); la relación puede ser expresada mediante la siguiente ecuación:

12 Se emplea el enfoque de Pedroni (2001; 2004), ya que este considera algunas variaciones que permiten controlar por la heterogeneidad entre las unidades de sección cruzada que componen el panel de datos.

13 Una correlación espuria es una relación entre dos variables que parecen tener interdependencia o asociación entre sí, pero que en realidad no la tienen. Las correlaciones espurias, por lo general, son causadas por factores no observables. En términos estadísticos, este tipo de situaciones suele manifestarse cuando las variables de la regresión no son estacionarias.

14 Como se mencionó anteriormente, en este estudio se consideran dos modelos que se diferencian por la variable que mide el desarrollo financiero de cada país. El Modelo A considera el agregado monetario M3 como proporción del PIB como variable *proxy* del desarrollo financiero. El Modelo B considera el crédito total al sector privado no financiero como proporción del PIB como variable *proxy* de desarrollo financiero.

$$\ln GDP_{it} = \beta_{0it} + \beta_1 \ln FD_{it} + \beta_2 \ln TOP_{it} + \beta_3 \ln FBCF_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

donde i señala la sección cruzada (los tres países), t es el periodo de tiempo de los datos, y ε_{it} representa el término de error. Los parámetros $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ representan las elasticidades de largo plazo del desarrollo financiero, apertura comercial y formación bruta de capital fijo con respecto al nivel de producción. Teóricamente, se esperaría que los tres parámetros fueran positivos. Es decir, que un aumento en el desarrollo financiero, la apertura comercial y la formación bruta de capital fijo propicie un aumento en el nivel de producción.

En este estudio se analizan las relaciones de causalidad de corto plazo empleando pruebas de causalidad en el sentido de Granger. Particularmente, se emplean las pruebas de causalidad para modelos de paneles de datos heterogéneos de Dumitrescu-Hurlin (2012). Se utiliza esta prueba porque su uso se considera adecuado para muestras pequeñas. Asimismo, los resultados de las pruebas de causalidad permiten determinar el grado de exogeneidad de las variables analizadas. Esto resulta especialmente útil para estimar correctamente las pruebas de cointegración en panel mediante la metodología de Fisher-Johansen.

Finalmente, debe enfatizarse que este estudio tiene cuatro objetivos que guían la investigación desarrollada. Estos objetivos se sintetizan de la siguiente forma: 1. Describir y comparar los niveles de producción, desarrollo financiero, apertura comercial y de formación bruta de capital fijo; 2. evaluar la existencia de relaciones de largo plazo y modelarlas; 3. estimar las elasticidades de largo plazo de la producción de Canadá, Estados Unidos y México; 4. determinar la dirección de causalidad entre las variables analizadas. Se enfatizan los objetivos porque definen las técnicas empleadas y los alcances y limitaciones de la investigación.

Base de datos y estadística descriptiva

La base de datos empleada en este estudio se compone por un panel de datos representativos de la producción real per cápita, el desarrollo finan-

ciero, el grado de apertura comercial y la formación bruta de capital fijo.¹⁵ Estadísticamente, el panel se puede describir como de tipo balanceado con $N \times T = 420$ observaciones; contiene datos e indicadores representativos de Canadá, Estados Unidos y México para los años 1990 a 2017. El periodo de análisis fue seleccionado con base en la disponibilidad de datos para los tres países analizados. Es importante señalar que la mayoría de los métodos y técnicas estudiadas en esta investigación requieren paneles balanceados.

La Tabla 2 presenta la definición de las variables estudiadas y las fuentes de donde fueron recuperadas. Específicamente, la producción real se mide a partir del nivel del Producto Interno Bruto per cápita. Para medir el desarrollo financiero se emplea el agregado monetario M3 (M3) y el crédito total a sectores privados no financieros (CTP), ambos como proporción con respecto al PIB. Adicionalmente, se emplean como variables de control el índice de apertura comercial (TOP) y la formación bruta de capital fijo (FBCF). Con excepción del GDPP, el resto de las variables son consideradas como proporciones con respecto al nivel del PIB total de cada país. Todas las variables son expresadas en términos de logaritmos naturales.

15 La base de datos inicialmente incluía índices de precios al consumidor como un indicador de estabilidad macroeconómica. Sin embargo, los coeficientes asociados a esta variable resultaron ser estadísticamente no significativos en el análisis empírico. Este hallazgo ha sido reportado previamente dentro de la literatura. Algunas explicaciones sugieren la existencia de efectos no lineales y umbrales en la relación entre inflación y crecimiento que son estadísticamente significativos únicamente durante periodos hiperinflacionarios (Barro, 1997; Bruno y Easterly, 1998; Rousseau y Wachtel, 2000).

Tabla 2

Definición y fuente de las variables estudiadas

Serie	Unidad de medida	Fuente	Código
Agregado monetario M3	%PIB	OCDE	M3
Crédito total a sectores privados no financieros	%PIB	Banco de Pagos Internacionales	CTP
Índice de apertura comercial	%PIB	Banco Mundial	TOP
Formación bruta de capital fijo	%PIB	Banco Mundial	FBCF
Producto Interno Bruto real per cápita	USD PPA 2011	Banco Mundial	GDPP

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Las series correspondientes al crédito total a sectores privados no financieros corresponden al valor del cuarto trimestre de cada año. Todas las variables son expresadas en términos de logaritmos naturales.

La Tabla 3 sintetiza la estadística descriptiva de las variables estudiadas a nivel agregado (i.e. regional). Particularmente, la Tabla muestra que la variable con mayor volatilidad medida con respecto a su estadístico de desviación estándar es el crédito total a sectores privados no financieros (0.4932), mientras que la variable con menor volatilidad ha sido la formación bruta de capital fijo (0.0796). La Tabla también muestra que las distribuciones de densidad de los indicadores analizados son asimétricas y que ninguna es mesocúrtica. Por otra parte, las estimaciones del estadístico de Jarque-Bera señalan que únicamente las variables M3 y formación bruta de capital fijo se distribuyen normalmente.

Tabla 3

Estadística descriptiva del panel de datos en logaritmos

Estadístico	PIB real per cápita	M3	Crédito total a sectores privados no financieros	Índice de apertura comercial	Formación bruta de capital fijo
Media	10.3018	3.9316	4.5055	3.7818	3.0457
Mediana	10.5340	3.9845	4.9632	3.9280	3.0470
Mínimo	9.4812	3.1755	3.1697	2.9824	2.7945
Máximo	10.9054	4.6481	5.3688	4.4171	3.2008
Desv. Est.	0.4932	0.3617	0.7538	0.4597	0.0796
Sesgo	-0.5202	-0.4162	-0.7203	-0.3998	-0.3109
Curtosis	1.5633	2.6010	1.7509	1.6037	2.9761
Jarque-Bera	11.0130	2.9820	12.7239	9.0615	1.3552
Prob.	0.0041	0.2251	0.0017	0.0108	0.5078
Observaciones	84	84	84	84	84

Fuente: Elaboración propia.

Nota: La estadística descriptiva considera datos en panel de Canadá, Estados Unidos y México. Los valores de la estadística descriptiva corresponden a las variables expresadas en términos de logaritmos naturales.

La Tabla 4 muestra las estimaciones de estadística descriptiva de las series empleadas en este estudio a nivel desagregado por país. Particularmente, las estimaciones muestran que los países que han experimentado los niveles de producción más volátiles han sido Canadá (0.1274) y Estados Unidos (0.1255). Asimismo, las estimaciones muestran que México ha experimentado menor volatilidad (0.0791). En lo que respecta al resto de las variables empleadas en este estudio, las estimaciones muestran que aquellas vinculadas con la economía de México han sido más volátiles en comparación con las de Canadá y Estados Unidos. Además, las estimaciones confirman que las distribuciones de densidad de las variables son asimétricas y que ninguna es mesocúrtica. Por tanto, la evidencia muestra que existe cierta heterogeneidad entre los países que conforman la región del TLCAN.

Tabla 4
Estadística descriptiva por país de las series en logaritmos

Estadístico	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desv. Est.	Sesgo	Curtosis	Observaciones
<i>Producción real per cápita</i>								
Canadá	10.5330	10.5765	10.6923	10.3128	0.1274	-0.5243	1.7690	28
Estados Unidos	10.7356	10.7772	10.9054	10.5065	0.1255	-0.5570	1.9502	28
México	9.6367	9.6506	9.7602	9.4812	0.0791	-0.3977	2.1122	28
<i>Agregado monetario M3</i>								
Canadá	4.2684	4.1591	4.6481	4.0735	0.1795	0.8592	2.3360	28
Estados Unidos	3.9793	3.9394	4.2445	3.8173	0.1318	0.6458	2.1800	28
México	3.5471	3.4977	4.0094	3.1755	0.2817	0.4202	1.8229	28
<i>Crédito total a sectores privados no financieros</i>								
Canadá	5.0947	5.0376	5.3688	4.9287	0.1306	0.8418	2.4172	28
Estados Unidos	4.9464	4.9928	5.1269	4.7698	0.1192	-0.1776	1.6810	28
México	3.4753	3.4642	3.9020	3.1697	0.2304	0.3160	1.9329	28
<i>Índice de apertura comercial</i>								
Canadá	4.1873	4.1893	4.4171	3.8959	0.1312	-0.4323	2.9484	28
Estados Unidos	3.2049	3.1999	3.4272	2.9824	0.1427	0.0120	1.8371	28
México	3.9533	3.9922	4.3508	3.3260	0.2564	-0.7494	3.0990	28
<i>Formación bruta de capital fijo</i>								
Canadá	3.0664	3.0615	3.2008	2.9127	0.0901	-0.0377	1.6410	28
Estados Unidos	3.0380	3.0398	3.1372	2.9115	0.0633	-0.2358	2.2534	28
México	3.0326	3.0494	3.1426	2.7945	0.0816	-1.0330	3.8747	28

Fuente: Elaboración propia.

Nota: La estadística descriptiva considera las series de Canadá, Estados Unidos y México. Los valores de la estadística descriptiva corresponden a las variables expresadas en términos de logaritmos naturales.

Análisis econométrico

Los análisis de cointegración y la estimación de las elasticidades de largo plazo se sustentan en estimaciones vinculadas a la metodología Fisher-Johansen y a regresiones mediante las técnicas FMOLS y DOLS. Particular-

mente, la metodología Fisher-Johansen usa pruebas de raíces unitarias y de cointegración para datos en panel. La relación de largo plazo de los indicadores y las elasticidades se estiman usando las regresiones FMOLS y DOLS. Las estimaciones vinculadas a las pruebas de raíces unitarias se presentan en la Tabla 5. Las estimaciones vinculadas a las pruebas de cointegración en panel y de las estimaciones de las elasticidades de largo plazo obtenidas de las regresiones FMOLS y DOLS se incluyen en las tablas 6 y 7, respectivamente.

Tabla 5
Pruebas de raíces unitarias y estacionariedad en panel

Variable	Estadístico	Prob.	Variable	Estadístico	Prob.
GDPPP			ΔGDPPP		
<i>LLC</i>	-0.9479	0.1716	<i>LLC</i>	-5.1135	0.0000
<i>ADF-Fisher</i>	2.0527	0.9148	<i>ADF-Fisher</i>	39.9301	0.0000
<i>Hadri</i>	5.4204	0.0000	<i>Hadri</i>	-0.4357	0.6685
M3			ΔM3		
<i>LLC</i>	3.4409	0.9997	<i>LLC</i>	-3.8361	0.0000
<i>ADF-Fisher</i>	0.0893	1.0000	<i>ADF-Fisher</i>	22.4742	0.0010
<i>Hadri</i>	4.9068	0.0000	<i>Hadri</i>	2.1623	0.0153
CTP			ΔCTP		
<i>LLC</i>	-0.7831	0.2168	<i>LLC</i>	-2.3073	0.0105
<i>ADF-Fisher</i>	7.0114	0.3198	<i>ADF-Fisher</i>	21.9476	0.0000
<i>Hadri</i>	1.6804	0.0464	<i>Hadri</i>	-0.4159	0.6613
TOP			ΔTOP		
<i>LLC</i>	-1.2484	0.1060	<i>LLC</i>	-6.1460	0.0000
<i>ADF-Fisher</i>	5.3660	0.4978	<i>ADF-Fisher</i>	37.8688	0.0000
<i>Hadri</i>	4.3479	0.0000	<i>Hadri</i>	0.9258	0.1773
FBCF			ΔFBCF		
<i>LLC</i>	-1.2568	0.1044	<i>LLC</i>	-3.1772	0.0000
<i>ADF-Fisher</i>	11.1280	0.0845	<i>ADF-Fisher</i>	36.6641	0.0000
<i>Hadri</i>	3.8573	0.0001	<i>Hadri</i>	-0.2360	0.5933

Fuente: Elaboración propia.

Nota: LLC se refiere a las pruebas de raíz unitaria común de Levin-Lin y Chu. La hipótesis nula de las pruebas LLC y ADF-Fisher es que existe un proceso de raíz unitaria común. La hipótesis nula de la prueba de estacionariedad de Hadri es que las variables son estacionarias alrededor de una tendencia. Las variables en niveles son consideradas en términos de logaritmos naturales. Δ se refiere a la primera diferencia de las variables en logaritmos.

La Tabla 5 muestra que la mayoría de las pruebas validan que el panel de datos analizado es estacionario en primeras diferencias, es decir, las variables son, I(1). Advuértase que la prueba de estacionariedad de Hadri no rechaza la estacionariedad de la variable M3 en primeras diferencias

apenas al uno por ciento del nivel de significancia estadística.¹⁶ Por tanto, la evidencia sugiere que los indicadores de producción, desarrollo financiero, apertura comercial y formación bruta de capital fijo son elegibles para las pruebas de cointegración. Las pruebas de cointegración resultan importantes porque permiten evaluar la existencia de relaciones de largo plazo entre las variables. El número de relaciones de cointegración se evalúa con base en los estadísticos combinados de la traza y el máximo eigenvalor. Los resultados de las pruebas de cointegración se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6
Prueba de cointegración para paneles (Metodología de Fisher-Johansen)

Modelo A			Modelo B		
Ecuaciones de cointegración	Estadístico	Probabilidad	Ecuaciones de cointegración	Estadístico	Probabilidad
<i>Pruebas de la traza</i>			<i>Pruebas de la traza</i>		
Ninguna	53.86	0.000	Ninguna	37.58	0.000
A lo más 1	18.40	0.005	A lo más 1	25.07	0.000
A lo más 2	10.42	0.108	A lo más 2	15.65	0.016
A lo más 3	10.05	0.123	A lo más 3	11.24	0.081
<i>Pruebas del máximo eigenvalor</i>			<i>Pruebas del máximo eigenvalor</i>		
Ninguna	43.93	0.000	Ninguna	17.17	0.009
A lo más 1	13.57	0.035	A lo más 1	15.13	0.019
A lo más 2	8.37	0.212	A lo más 2	12.99	0.043
A lo más 3	10.05	0.123	A lo más 3	11.24	0.081

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Se considera una tendencia determinística y un intercepto en la ecuación de cointegración. El Modelo A considera la variable M3 como proxy del nivel de desarrollo financiero. El Modelo B considera la variable CTP como proxy de desarrollo financiero.

La Tabla 6 sugiere resultados diferenciados entre los modelos estudiados. En lo que respecta al Modelo A, que considera M3 como variable proxy de desarrollo financiero, la evidencia sugiere que existen cuando mucho y al menos dos relaciones de cointegración. Por otra parte, los resultados del Modelo B que considera el crédito total otorgado a los sectores priva-

¹⁶ Al respecto, es importante reconocer que una de las limitaciones más importantes de las pruebas de raíz unitaria consideradas en este estudio es la falta de consideración de posibles cambios estructurales. La incorporación de los efectos de dichos cambios podría tener efectos significativos sobre los resultados aquí presentados.

dos no financieros sugieren que existen tres relaciones de cointegración. Estos hallazgos se confirman, de manera independiente, por las pruebas de la traza y de máximo eigenvalor. Asimismo, implica que las variables analizadas pueden ser utilizadas para estimar regresiones no espurias. Estas implicaciones son importantes porque justifican la estimación de las relaciones de largo plazo mediante FMOLS y DOLS. La Tabla 7 muestra los resultados de dichas estimaciones.

Tabla 7

Estimación de la relación de cointegración de largo plazo mediante la técnica FMOLS y DOLS por medias de grupo

Modelo	Regresor	FMOLS			DOLS		
		Coefficiente	Estadístico-t	Prob.	Coefficiente	Estadístico-t	Prob.
Modelo A	M3	-0.0605	-0.8073	0.422	-0.0674	-0.4696	0.641
	Índice de apertura comercial	0.7055	11.8254	0.000	0.7697	5.5611	0.000
	Formación bruta de capital fijo	2.5499	22.3996	0.000	2.4870	10.9035	0.000
	Jarque-Bera	Estadístico	Prob.		Estadístico	Prob.	
Modelo B		5.3883	0.0675		6.7035	0.0350	
	Crédito total a sectores privados no financieros	0.6774	5.9660	0.000	0.5412	3.2062	0.002
	Índice de apertura comercial	0.2697	2.6331	0.010	0.2022	1.4457	0.154
	Formación bruta de capital fijo	2.0126	11.4470	0.000	2.2390	8.8234	0.000
	Jarque-Bera	Estadístico	Prob.		Estadístico	Prob.	
		4.2218	0.1211		5.4417	0.0658	

Fuente: Elaboración propia.

Nota: La estimación de los modelos considera matrices de covarianza heterogéneas. La estimación de ambos modelos considera como variable dependiente el PIB real per cápita. Se consideran estimadores de medias de grupo (mean group). En ambos modelos y técnicas el número de rezagos y adelantos considerados es de uno. Las estimaciones consideran modelos sin interceptos.

La Tabla 7 muestra las medias de grupo de los coeficientes estimados de la relación de equilibrio de largo plazo. Particularmente, se emplean las técnicas FMOLS y DOLS para estimar la ecuación (1). Debido a la forma funcional empleada, los coeficientes pueden ser interpretados en términos de cambios porcentuales.¹⁷ La evidencia sugiere que la variable M3 no es estadísticamente significativa al 95 por ciento de nivel de significancia.

17 En este contexto, los coeficientes se pueden interpretar como cambios porcentuales (incrementos) de $\beta\%$ en el PIB real per cápita, ante cambios (incrementos) de un 1% en el crédito total a sectores privados no financieros, los índices de apertura comercial y la formación bruta de capital fijo. Por ejemplo, a nivel del panel regional, un incremento del crédito total a sectores privados no financieros genera un incremento del PIB per cápita de 0.6774%.

Además, con excepción de la variable formación bruta de capital fijo, los resultados sugieren una relación de largo plazo débil, ya que los coeficientes estimados son menores a la unidad. Se observa también que los resultados de las estimaciones FMOLS y DOLS no difieren mucho entre sí.

La Tabla 8 presenta los coeficientes estimados de la relación de equilibrio de largo plazo por país.¹⁸ Los vectores de cointegración estimados por país muestran que, para el caso de Estados Unidos, el crédito total a sectores privados no financieros tiene un efecto mayor sobre el PIB en comparación con Canadá y México. Además, los resultados sugieren una relación negativa entre el índice de apertura comercial de México y positiva en los casos de Canadá y Estados Unidos. El hallazgo de estas diferencias puede deberse al mayor nivel de apertura de la economía mexicana. Finalmente, los resultados indican que el nivel de importancia relativa de la formación bruta de capital fijo es mayor para la economía mexicana, y prácticamente del doble si se compara con aquella para el caso de la economía de Canadá y Estados Unidos.

Tabla 8

Estimación de la relación de cointegración de largo plazo mediante la técnica FMOLS y DOLS por país

Modelo	Regresor	FMOLS			DOLS		
		Canadá	Estados Unidos	México	Canadá	Estados Unidos	México
Modelo A	M3	-0.3008	0.7729	-0.6537	-0.3127	0.6866	-0.576
	Índice de apertura comercial	0.9072	0.6311	0.5782	1.1168	0.7260	0.466
	Formación bruta de capital fijo	2.6199	1.8545	3.1754	2.3261	1.8702	3.265
Modelo B	Crédito total a sectores privados no financieros	0.4091	1.1701	0.453	0.4868	1.0384	0.098
	Índice de apertura comercial	0.8647	0.2324	-0.288	0.8762	0.0480	-0.318
	Formación bruta de capital fijo	1.5891	1.3854	3.063	1.4336	1.8112	3.472

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los coeficientes presentados en esta tabla corresponden a la desagregación por país de los coeficientes obtenidos mediante las técnicas FMOLS y DOLS empleando estimadores por

Por último, la Tabla 9 presenta el resultado de las pruebas de causalidad de corto plazo para datos en panel de Dumitrescu-Hurlin. La hipótesis

¹⁸ Cabe destacar que los resultados mostrados en dicha Tabla son recuperados de las estimaciones FMOLS y DOLS mediante medias de grupo.

nula de estas pruebas es que la variable X no causa homogéneamente a la variable Y . La evidencia encontrada sugiere la existencia de causalidad bidireccional entre el crédito total a sectores privados y el PIB. Además, se encontraron relaciones de causalidad unidireccionales que van del PIB a M3 y los índices de apertura comercial; de la formación bruta de capital fijo a los índices de apertura comercial; y del crédito total a sectores privados a la formación bruta de capital fijo.

Tabla 9

Prueba de causalidad de Granger para panel de Dumitrescu-Hurlin

Hipótesis nula	Estadístico	Estadístico	Rezagó óptimo	Prob.
	W	Promedio		
Δ M3 no causa homogéneamente a Δ PIB	2.714	1.682	1	0.093
Δ PIB no causa homogéneamente a Δ M3	3.317	2.309	1	0.021
Δ CTP no causa homogéneamente a Δ PIB	14.780	14.221	1	0.000
Δ PIB no causa homogéneamente a Δ CTP	5.487	2.276	2	0.023
Δ TOP no causa homogéneamente a Δ PIB	16.543	1.850	6	0.064
Δ PIB no causa homogéneamente a Δ TOP	51.306	3.482	7	0.001
Δ FBCF no causa homogéneamente a Δ PIB	7.229	-0.390	7	0.697
Δ PIB no causa homogéneamente a Δ FBCF	0.132	-1.001	1	0.317

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para la estimación de las pruebas se emplean las series en términos de las primeras diferencias de los logaritmos. El número óptimo de rezagos fue seleccionado empleando el criterio de información de Schwarz. PIB se refiere al nivel de Producto Interno Bruto real per cápita. M3 se refiere al agregado monetario M3. CTP se refiere al crédito total a sectores privados no financieros. FBCF se refiere a la formación bruta de capital fijo. Δ Se refiere a las series en primeras diferencias.

Conclusiones

En este estudio se han analizado las relaciones de largo plazo y la causalidad de la producción, el desarrollo financiero y la apertura comercial entre los países que conforman la región del TLCAN. El estudio ha utilizado análisis de tipo estadístico y econométrico empleando datos en panel. Los objetivos del estudio consisten en: 1. describir y comparar las variables de los países; 2. evaluar la existencia de relaciones de largo plazo y modelarlas; 3. estimar las elasticidades de largo plazo de la producción a escala regional y por país; y 4. determinar la causalidad entre las variables.

La muestra analizada en este estudio se compone por un panel de datos representativos de Canadá, Estados Unidos y México para el período comprendido entre los años 1990 a 2017.

Los principales hallazgos del análisis estadístico pueden sintetizarse de la siguiente manera: 1. el nivel de producción, el desarrollo financiero, la apertura comercial y la formación bruta de capital fijo son heterogéneos entre los países que componen el bloque comercial durante el periodo analizado; 2. sus distribuciones de densidad han sido asimétricas y ninguna ha sido mesocúrtica; 3. Canadá y Estados Unidos registran los niveles de producción más altos y más volátiles; 4. México ha registrado mayores niveles de volatilidad en los indicadores de desarrollo financiero, apertura comercial y formación bruta de capital fijo.

Los hallazgos del análisis de cointegración y de elasticidades pueden sintetizarse de la siguiente forma: 1. la totalidad de las variables que conforman el panel de datos son estacionarias en primeras diferencias; 2. las variables que conforman los dos modelos analizados cointegran y existe al menos una y dos relaciones de cointegración, respectivamente; 3. la relación de largo plazo muestra que existen correlaciones positivas y significativas entre la producción, el desarrollo financiero, la apertura comercial y la formación bruta de capital fijo; 4. la elasticidad promedio de la producción con respecto al desarrollo financiero es aproximadamente 2.51 veces más alta que aquella de la apertura comercial; 5. la elasticidad de la producción con respecto a la formación bruta de capital fijo es, en promedio, más grande que la elasticidad de la producción con respecto al desarrollo financiero y la apertura comercial.

Los resultados obtenidos de las pruebas de causalidad en el sentido de Granger de Dumitrescu-Hurlin sugieren que existe causalidad bidireccional entre las variables representativas del desarrollo financiero y la apertura comercial con respecto a la producción. Sin embargo, no se encontró ninguna relación de causalidad entre la formación bruta de capital fijo y el nivel de producción. En términos de política económica, los resultados de este estudio implican que las políticas dirigidas a fomentar el desarrollo de los mercados financieros y el comercio internacional pueden llegar a tener un efecto significativo en el nivel de producción, al menos en el largo plazo. Las políticas encaminadas a fomentar el desa-

rollo de los mercados financieros resultan especialmente importantes para el caso de la economía mexicana dadas las características actuales sus mercados.

Bibliografía

- Andersen, L. & Babula, R. (2009). The link between openness and long-run economic growth. *Journal of International Commerce & Economics*, 2, 31-50.
- Asteriou, D. & Price, S. (2000). Financial development and economic growth: Time series evidence for the case of UK. *Ekonomia*, 4(2), 122-141.
- Balassa, B. (1978). Export and economic growth: Further evidence. *Journal of Development Economics*, 5(2), 181-189.
- Baltagi, B., Demetriades, P. & Law, S. (2009). Financial development and openness: evidence from panel data. *Journal of Development Economics*, 89(2), 285-296.
- Barro, R. (1997). *Determinants of Economic Growth: A Cross-Country Empirical Study*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Beck, T. (2002). Financial development and international trade: is there a link? *Journal of International Economics*, 107-131.
- Blackburn, K. & Hung, V. (1998). A theory of growth, financial development and trade. *Economica*, 65(27), 107-124.
- Bruno, M. & Easterly, W. (1998). Inflation crises and long-run growth. *Journal of Monetary Economics*, 41(1), 3-26.
- Cermeño, R., García, M. & González-Vega, C. (2016). Desarrollo financiero y la volatilidad del crecimiento: evidencia de series de tiempo para México y Estados Unidos. *Monetaria*, 38(2), 209-250.
- Christopoulos, D. & Tsionas, E. (2004). Financial development and economic growth: Evidence from panel unit root and cointegration tests. *Journal of Development Economics*, 73(1), 55-74.
- De Gregorio, J. & Guidotti, P. (1995). Financial development and economic growth. *World Development*, 23(3), 1433-1488.
- Demetriades, P. & Hussein, K. (1996). Does financial development cause economic growth? Time series evidence from sixteen countries. *Journal of Development Economics*, 51(2), 387- 411.
- Dumitrescu, E. & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460.

- Edwards, S. (1998). Openness, productivity and growth: What do we really know? *The Economic Journal*, 108, 383-398.
- Friedman, M. & Schartz, A. (1963). *A monetary history of the United States*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Fry, M. (1997). In favour of financial liberalisation. *The Economic Journal*, 107(442), 754-770.
- Goldsmith, R. (1969). *Financial structure and development*. New Haven, Conn: Yale University Press.
- Greenaway, D., Morgan, W. & Wright, P. (2002). Trade liberalisation and growth in developing countries. *Journal of Development Economics*, 67(1), 229-244.
- Greenwood, J. & Smith, B. (1997). Financial markets in developments and the development of financial market. *Journal of Economic Dynamic and Control*, 21(1), 145-181.
- Hadri, K. (2000). Testing for unit roots in heterogeneous panel data. *Econometrics Journal*, 3, 148-161.
- Harrison, A. (1996). Openness and growth: A time-series, cross-country analysis for developing countries. *Journal of Development Economics*, 48, 419-447.
- Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian Vector Autoregressive models. *Econometrica*, 59(6), 53-74.
- Kao, C. & Chiang, M. (2000). On the estimation and inference of a cointegrated regression in panel data. En B. Baltagi, T. Fomby & R. Carter (Eds.), *Nonstationary Panels, Panel Cointegration and Dynamic Panels* (Vol. 15, pp. 179-222). Boston, MA, Estados Unidos: Emerald Group Publishing Limited.
- Khan, M. & Senhadji, A. (2000). *Financial development and economic growth: An overview*. IMF Working Paper No. 00/209.
- Kim, D., Lin, S. & Suen, Y. (2010). Are financial development and trade openness complements or substitutes? *Southern Economic Journal*, 63(3), 827-845.
- King, R. & Levine, R. (1993). Finance, entrepreneurship and growth. *Journal of Monetary Economics*, 32(3), 513-542.
- Levin, A., Lin, C. & Chu, C. (2002). Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24.
- Levine, R. (1995). ¿Es importante el sistema financiero? Bogotá, D.C.: Banco de la República y Banco Mundial.
- Levine, R., Loayza, N. & Beck, T. (2000). Financial intermediation and growth: Causality and cause. *Journal of Monetary Economics*, 46(1), 31-77.

- Lucas, R. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42.
- Maddala, G. & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(número especial), 631-652.
- McKinnon, R. (1973). *Money and capital in economic development*. Brookings Institution Press.
- Pedroni, P. (2001). Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels. En B. Baltagi , T. Fomby & R. Carter (Eds.), *Nonstationary Panels, Panel Cointegration and Dynamic Panels* (Vol. 15, pp. 93-180). Boston, MA: Emerald Group Publishing.
- (2004). Panel cointegration: Asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis. *Econometric Theory*, 20(3), 597-625.
- Rajan, R. & Zingales, L. (2003). The great reversals: the politics of financial development in the twentieth century. *Journal of Financial Economics*, 69(1), 5-50.
- Robinson, J. (1952). *The rate of interest and other essays*. Londres: MacMillan .
- Romero de Ávila , D. (2003). *Finance and growth in the EU: New evidence from the liberalization and harmonization of the banking industry*. Working Paper Series 266. Frankfurt: European Central Bank.
- Roubini, N. & Sala-i-Martin, X. (1992). Financial repression and economic growth. *Journal of Development Economics*, 3(1), 5-30.
- Rousseau, P. & Wachtel, P. (2000). Equity markets and growth: Cross-country evidence on timing and outcome, 1980-1995. *Journal of Banking & Finance*, 24(12), 1933-1957.
- Schumpeter, J. (1991). *The theory of economic development*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Shan, J. (2005). Does financial development ‘lead’ economic growth? A vector auto-regression appraisal. *Applied Economics*, 37(12), 1353-1367.
- Shaw, E. (1973). *Financial deepening in economic development*. Nueva York: Oxford University Press.
- Tinoco, M., Torres, V. & Venegas-Martínez, F. (2008). Deregulation, financial development and economic growth in Mexico: Long-term effects and causality. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.1010525
- Tyler, W. (1981). Growth and export expansion in developing countries. *Journal of Development Economics*, 9(1), 121-130.

- Valickova, P., Havranek, T. & Horvath, R. (2015). Financial development and economic growth: A meta-analysis. *Journal of Economic Surveys*, 29(3), 506-526.
- Von Furstenberg, G. & Fratianni, M. (1996). Indicators of financial development. *The North American Journal of Economics and Finance*, 7(1), 19-29.
- Xu, Z. (2000). Financial development, investment and economic growth. *Economic Inquiry*, 38(2), 331-344.

CAPÍTULO 7

IMPACTO DE LA EXPANSIÓN DE EMPRESAS MINORISTAS MULTINACIONALES: EL CASO DE WAL-MART EN ÁREAS URBANAS

MANUEL MACHUCA MARTÍNEZ
VÍCTOR MANUEL CASTILLO GIRÓN

Introducción

Desde una perspectiva logística, el abasto de alimentos se conforma por fases específicas que corresponden a la producción primaria, acopio del producto, acondicionamiento y empaque, almacenamiento, transporte y distribución al consumidor final (Torres Torres, 2011, p. 66).

En México, de acuerdo con Torres Torres (2011) y Torres Torres y Rojas Martínez (2016), la forma típica en que los alimentos van desde los productores hasta las tiendas y al consumidor final es a través de los patrones dendrítico y solar.

No obstante, conforme a lo expuesto por Moreno Lázaro (2012), debido a la cercanía con Estados Unidos y a la aportación de empresarios españoles y mexicanos en su mayoría, surgen las grandes cadenas de supermercados, siendo las más destacadas por su trascendencia: Aurrerá y Comercial Mexicana, fundadas en la Ciudad de México en 1958 y 1959, respectivamente; Soriana en Torreón, Coahuila, en 1962; Chedraui en Xalapa, Veracruz, y Casa Ley en Culiacán, Sinaloa, ambas en 1970; y Oxxo de Grupo Femsa en Monterrey, Nuevo León, en 1977.

Asimismo, en este periodo llegan varias empresas extranjeras como Costco (en ese momento Price Club) a la Ciudad de México en 1992 de la

mano de Comercial Mexicana; y H-E-B a San Pedro Garza García, Nuevo León, en 1997 (Gasca & Torres, 2014; Moreno Lázaro, 2012).

Sin embargo, es a partir de la década de 1990 que, al amparo de las políticas de ajuste estructural (González Chávez & Macías Macías, 2007), la distribución nacional de alimentos tuvo una reconfiguración importante con la llegada de Wal-Mart Stores Inc. (Gasca & Torres, 2014; Moreno Lázaro, 2012), un evento de relevancia incluso a escala empresarial (Casado Izquierdo, 2018; Livio de los Ríos Cortés, 2007; Turner Barragán & Martínez Pére, 2003). En efecto, la compra de Grupo Cifra (las tiendas Aurrerá) por parte de Wal-Mart tuvo diversas implicaciones para el sector, dentro de las que están:

- a. El aprovechamiento de su red global de proveedores (Álvarez Galván & Tilly, 2006; Durand, 2005; Minei & Matusitz, 2013);
- b. El financiamiento para la filial mexicana (Moreno Lázaro, 2012); y
- c. Las mejoras tecnológicas y de organización (Álvarez Galván & Tilly, 2006; Durand, 2005; Gasca & Torres, 2014; Minei & Matusitz, 2013).

En consecuencia, la distribución de alimentos se modifica sustancialmente, llegando incluso a una transformación radical de los patrones clásicos de búsqueda de alimentos en los hogares (Atkin *et al.*, 2018), toda vez que “el abasto de alimentos se encamina hacia una transición del patrón típico de economías abiertas y mercados globalizados, controlado por un esquema de competencia entre firmas internacionales y locales” (Torres Torres, 2011, p. 67).

Por otro lado, si bien no se ha profundizado en las características de este nuevo patrón de distribución de alimentos (Castillo Girón *et al.*, 2014), resalta que la participación de las grandes cadenas de distribución de alimentos, como Wal-Mart, puede impactar algunas variables esenciales del sector alimentario mexicano. En este sentido, los estudios son escasos y con relación a diversas temáticas:

- a. El trabajo de Castillo Girón, Machuca Martínez, y Ayala Ramírez (2019) analiza la probabilidad de encontrar una mayor productividad por trabajador a escala municipal a medida que los metros cuadrados de piso de venta de Wal-Mart aumentan;

- b. El de Atkin et al. (2018) estudia mediante microdatos el impacto de la llegada de cadenas globales del sector retail sobre el bienestar de los hogares, el ingreso, empleo y número de tiendas del sector en los municipios del país;
- c. Por su parte, Varela (2011, 2018), en dos trabajos, analiza los costos de entrada y salida a partir del arribo de Wal-Mart a la industria de supermercados;
- d. Asimismo, el artículo de Iacovone et al. (2015) examina el efecto de la entrada de Wal-Mart sobre diversos indicadores de los productores de bienes de consumo;
- e. Por otro lado, Rodríguez et al. (2014) cuantifican el efecto de la entrada de Wal-Mart sobre el promedio de los salarios por hora trabajada en los municipios de México;
- f. Otro trabajo, el de Lagakos (2009), aborda las diferencias de productividad del sector retail entre Estados Unidos y algunos países en vías de desarrollo (como México), argumentando que se explican por la existencia de un menor número de tiendas de comercio moderno dada la menor proporción de hogares con automóviles; y
- g. Por último, en la tesis de Dove (2006) se mide el impacto de la entrada de Wal-Mart sobre un índice de empleo del sector *retail* a escala estatal.

Cabe destacar que ninguno de estos estudios se centra en el análisis de las elasticidades de los factores de factores de producción (Trabajo y Capital), ni en el consecuente análisis de la escala de producción (o elasticidad de escala), y mucho menos en si la expansión o presencia de Wal-Mart las impacta significativamente.

De hecho, con base en lo que argumentan Gasca y Torres (2014), Harner (2007), Minei y Matusitz (2013) y Schwentesius Rinderman y Gómez Cruz (2006), acerca de que los Centros de Distribución (CEDIS) del comercio moderno ayudan a la generación de economías de escala de la cadena de abasto de alimentos, se esperaría que la presencia y expansión de Wal-Mart, el caso tipo, impacte significativa y positivamente a las elasticidades de los factores de producción y, por consiguiente, a la elasticidad de escala del sector.

Y nótese que al hablar de la empresa Wal-Mart como un caso típico, este trabajo se inscribe dentro de los análisis de los efectos de la inversión extranjera directa en México, idea trabajada ya por Iacovone *et al.* (2015).

De este modo, se puede plantear la siguiente pregunta de investigación: ¿Está la expansión y presencia del Comercio Moderno tipificada por la empresa Wal-Mart en México, relacionada con diferencias significativas en el rendimiento total de los factores de producción del sector alimentario mexicano?

Para dar respuesta a esta pregunta, este trabajo plantea la estimación de las elasticidades de los factores de producción neoclásicos (trabajo y capital) y del rendimiento total de dichos factores a escala municipal y con base en la información de los Censos Económicos de 2009, 2014 y 2019 a partir de una función de producción de tipo Cobb-Douglas modificada al modo propuesto por Ulveling y Fletcher (1970), que en este trabajo considerará elasticidades de producción variables cuya base es un planteamiento de diferencias en diferencias.

Por consiguiente, además de esta introducción y las conclusiones, el documento se integra de tres apartados. En el primero se refiere la literatura de los impactos del comercio moderno, particularmente de la presencia y expansión de Wal-Mart en México. En el segundo se presenta el proceso metodológico implementado, subrayando los criterios para la selección de la muestra determinística de municipios y los criterios para la selección de las actividades económicas del sector en estudio, así como el modelo de regresión y la estadística descriptiva de las variables. El tercero y último contiene las estimaciones y la discusión de las economías-deseconomías de escala estimadas ante la presencia de Wal-Mart, así como los efectos de la expansión de dicha empresa sobre ellas.

Marco teórico: el impacto del desarrollo del comercio moderno

Con base en el análisis de la literatura relevante del tema, cuyo énfasis está en los impactos del desarrollo y presencia de Wal-Mart en México, se pueden agrupar los efectos del desarrollo del comercio moderno en cuatro categorías:

Efectos sobre los proveedores de bienes de consumo

En el nuevo patrón de distribución de alimentos, los CEDIS funcionan como un centro de acopio para las tiendas de autoservicio, con lo que se busca eliminar a los intermediarios y generar relaciones directas con los proveedores en sus lugares de origen para abaratar costos (Castillo Girón *et al.*, 2014; Gasca & Torres, 2014; Gereffi & Christian, 2009; Guerrero Martínez, 2012; Lugo Morín, 2013; Schwentesius Rinderman & Gómez Cruz, 2006; Torres Torres, 2011).

Es así como la centralización de las operaciones de las tiendas minoristas en uno o varios CEDIS les da a estas una capacidad de compra tal que los productores, comerciantes regionales-empacadores y centrales de abasto se vuelven calidad-precio aceptantes de las condiciones impuestas por los compradores (González Estrada, 2016; Sánchez & Peralta, 2016).

Así, de acuerdo con diversos autores (Álvarez Galván & Tilly, 2008; Castillo Girón *et al.*, 2014; Durand, 2005; Espinoza Arellano *et al.*, 2017; Gereffi & Christian, 2009; Harner, 2007; Iacovone *et al.*, 2015; Lugo Morín, 2013; Minei & Matusitz, 2013; Schwentesius Rinderman & Gómez Cruz, 2006; Torres & Vicente, 2008; Torres Gastelú, 2012; Yurkievich & Sánchez Crispín, 2016), se pueden enumerar dos aspectos básicos a cumplir:

- a. Los relativos a la entrega de los productos, a saber: mantener la continuidad en calidad y volumen y aceptar los requerimientos de empaque, refrigeración, transportación y hora de entrega; y
- b. Las relacionadas con el orden económico-contractual por las que tienen que invertir en la gestión de la negociación, dar precios con márgenes reducidos y otorgar descuentos, recibir pagos diferidos, aceptar la política de devoluciones, patrocinar promociones y demostraciones, así como adoptar prácticas de contabilidad y facturación formales.

Nótese que el mayor peligro de esto es la exclusión total del sistema de distribución a los autoservicios al no poder cumplir con los requisitos impuestos (Álvarez Galván & Tilly, 2008; Minei & Matusitz, 2013), o bien, el depender de un solo cliente que acapara la mayor parte de las compras (Contreras-Valenzuela *et al.*, 2018).

Mas no todo es negativo, ya que se apuntan varios beneficios asociados al establecimiento de los CEDIS:

- a. Permiten extender el alcance de los proveedores (Iacovone *et al.*, 2015);
- b. Proporcionan posicionamiento de los productos (torres & vicente, 2008);
- c. Facilitan los lazos con las comunidades a través de las iniciativas de desarrollo de proveedores (camacho gómez & pérez berlanga, 2013; iacovone *et al.*, 2015);
- d. Incentivan y privilegian la innovación (camacho gómez & pérez berlanga, 2013; minei & matusitz, 2013; torres gastel  , 2012);
- e. Agregan valor al exigir empacar los productos y reducir los desperdicios, es decir, incentivan la competitividad (castillo girón & ayala ramírez, 2014); y
- f. De acuerdo con la misma empresa Wal-Mart (2017), ayudan a simplificar el trámite para el proveedor mismo.

Por tanto, los efectos sobre los proveedores son mixtos. Por un lado, son negativos, derivados de las condiciones relativas a la entrega de productos y a las económico-contractuales; y por otro, en la literatura se apuntan efectos positivos principalmente relacionados al alcance, posicionamiento, desarrollo, innovación, valor agregado otorgado a los productos y mayor simplicidad en los trámites administrativos.

Efectos sobre las unidades económicas del comercio minorista

El segundo efecto por mencionar estaría sobre las mismas unidades económicas que interactúan dentro del sector del comercio minorista. En este rubro se hace referencia principalmente al acaparamiento de los supermercados sobre las ventas o ingresos en perjuicio de las unidades económicas con las que interactúan, lo cual propicia en determinado momento el cierre de algunos comercios, principalmente de aquellos inscritos dentro del canal tradicional de distribución.

Es así, que esta idea se pone de manifiesto en diversos trabajos, dentro de los que encontramos los de Torres Salcido y Pensado Leglise (2006),

Moreno Perez y Villalobos Magaña (2010), García Medina (2012), Moreno Lázaro (2012), González Ortiz y Vega Bolaños (2016), Pérez-Ramírez y Antolín-Espinosa (2016), Massieu Trigo (2017) y Atkin *et al.* (2018).

Por lo tanto, en este sentido los efectos sobre las unidades económicas también son mixtos: son positivos en cuanto a que el proceso de expansión del comercio moderno favorece los resultados de las grandes cadenas de supermercados del país; y por otro, negativos en cuanto a que desplazan e incluso llevan a desaparecer a las unidades económicas pertenecientes al comercio tradicional.

Efectos sobre el factor trabajo del comercio al por menor

Además, es posible plantear la idea de que el desarrollo del comercio moderno impacta también el factor trabajo del mismo sector, sobre:

- a. El nivel de empleo que es afectado negativamente (atkin *et al.*, 2018; Dove *et al.*, 2006; Massieu trigo, 2017);
- b. La productividad por trabajador que se incrementaría significativamente ante la presencia del comercio moderno (castillo girón *et al.*, 2019; Lagakos, 2009); y
- c. Los salarios promedio que se reducirían principalmente en establecimientos del comercio tradicional (Atkin *et al.*, 2018; Rodríguez *et al.*, 2014).

En resumen, la llegada del comercio moderno presenta impactos significativos en el ámbito laboral del comercio minorista. El arribo de las grandes cadenas comerciales implica una disminución del número de puestos de trabajo, incrementos de la productividad por trabajador y una caída en los salarios promedio recibidos.

Efectos sobre los consumidores o clientes

Finalmente, es posible mencionar que existen impactos sobre los mismos consumidores (los clientes), lo cual se pone de manifiesto en dos sentidos:

- a) Desde los cambios en sus preferencias: las grandes cadenas comerciales generan un cambio en sus gustos, por lo que terminan siendo preferidas ante los atractivos que les ofrecen (García Medina, 2012; González Ortiz & Vega Bolaños, 2016; Paswan *et al.*, 2010); y
- b) Con relación a un incremento en los niveles de bienestar alcanzados: así, Atkin *et al.* (2018) concluye, entre otros aspectos, que la llegada de las grandes cadenas globales del sector *retail* propicia ganancias significativas en el bienestar de la población vía una reducción del costo de vida.

En suma, desde la perspectiva de los consumidores (los clientes), aunque los estudios son menores en número, estos reportan una clara influencia del desarrollo de los supermercados sobre las preferencias de los consumidores en la selección del punto de venta y el lugar destinado al ocio y esparcimiento; asimismo, se destaca el logro de un incremento del bienestar vía una reducción del costo de vida a través de los precios.

Metodología

En el presente apartado se sientan las bases para el análisis empírico de este trabajo. Así, primero se determinan los municipios muestrales y las actividades económicas a considerar, y luego se hace el planteamiento del modelo econométrico y se presenta la estadística descriptiva de las variables.

Determinación de los municipios muestrales

Más allá de los criterios metodológicos de delimitación, ajustados a través de los años, y de la estadística que da origen a la agrupación de los municipios en zonas metropolitanas (ZM) en los años 2010, 2015 y 2018, en este último año considerada conforme a la clasificación del Sistema Urbano Nacional (SUN), (véase el detalle en CONAPO, 2020), es necesario resaltar la evolución que han tenido estas agrupaciones de municipios ligada a la presencia de Wal-Mart.

Con este fin, la presencia de esta empresa se determinó en tres momentos: en julio de 2010, diciembre de 2014 y febrero de 2020. Para ello se utilizaron el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI (2015) y la información proporcionada por la misma cadena comercial (Wal-Mart, 2019).

En la Tabla 1 se puede ver la presencia municipal de Wal-Mart y su relación con las tres clasificaciones de zonas metropolitanas referidas (ZM 2010, ZM 2015 y ZM del SUN 2018), así como con la totalidad de los municipios del SUN 2018; nótese que para el año 2010, el porcentaje de presencia en ZM era de 40.87 %; para 2015, de 55.39 %; y para 2020, de 58.99 %.

Tabla 1
Presencia de Wal-Mart en municipios metropolitanos
(2010, 2015 y 2018) y del Sistema Urbano Nacional (2018)

Año	Clasificación urbana	Municipios				
		Totales	Con presencia de Wal-Mart	Porc. (%)	Sin presencia de Wal-Mart	Porc. (%)
2010	ZM 2010	367	150	40.87 %	217	59.12 %
2015	ZM 2015	417	231	55.39 %	186	44.60 %
2020	ZM 2018	417	246	58.99 %	171	41.00 %
2020	SUN 2018	761	523	68.72 %	238	31.27 %

Fuente: Elaboración propia con base en información de CONAPO (2020), INEGI (2015) y Wal-Mart (2019).

Sin embargo, cabe resaltar que el SUN 2018 considera no solo áreas metropolitanas, sino también municipios, que denomina como conurbaciones y centros urbanos (véase CONAPO, 2020). En consecuencia, si se relaciona la presencia de las tiendas Wal-Mart de 2020 referida a la totalidad de las localidades del SUN de 2018, esta empresa se encuentra establecida en el 68.72 % de los municipios de dicha clasificación (véase también la Tabla 1); esto implica una alta presencia de la empresa minorista en los municipios urbanos del país.

Bajo esta dinámica se afirma que la transformación (globalización) del comercio moderno tiene su centro en zonas preferentemente urbanas,

lo cual también se constata en los trabajos de Casado Izquierdo (2018) y Rodríguez *et al.* (2014).

Por lo tanto, con fundamento en lo anterior, en este trabajo se considerarán como unidades de observación dos tipos de municipios: a) aquellos que forman parte del SUN 2018 (761 municipios); y b) los que tienen presencia de Wal-Mart en 2020 sin ser parte del SUN (85 municipios); en total son 846 municipios muestrales (véase la Tabla 2). Aunado a esto, es necesario precisar que se considera esta muestra determinística toda vez que la presencia de Wal-Mart no está en todos municipios del país y probablemente nunca lo haga.

Tabla 2

Presencia de la empresa Wal-Mart (años 2010, 2015 y 2020)
en los municipios muestrales

Totales muestra	Con presencia de Wal-Mart en:					
	2010		2015		2020	
	Cantidad	Porc. (%)	Cantidad	Porc. (%)	Cantidad	Porc. (%)
846	348	41.13 %	513	60.63 %	608	71.86 %

Fuente: Elaboración propia con base en información de CONAPO (2020), INEGI (2015) y Wal-Mart (2019).

Sobre las actividades económicas a considerar

Puesto que este trabajo busca realizar una prueba empírica, se vuelve necesario definir al sistema alimentario y a sus subsectores conforme al Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) utilizado por el INEGI (2013). Esto se hace a partir de las definiciones proporcionadas por Schwentesius Rinderman y Gómez Cruz (2006) y por Castillo Girón *et al.* (2014), con base en las que se llega a la consideración para este trabajo de las Ramas de actividad económica mostradas en la Tabla 3 (en total seis Ramas).

Tabla 3

Actividades económicas comprendidas en el sector alimentario

Rama de actividad económica	Grupo del sistema alimentario comprendido	Grupo Alimentario
4611 Comercio al por menor de abarrotes y alimentos	Comercio tradicional en tiendas de abarrotes y mercados públicos: comercio moderno en formatos especializados	Abarrotes
4612 Comercio al por menor de bebidas, hielo y tabaco		
4621 Comercio al por menor en tiendas de autoservicio	Comercio moderno en tiendas de autoservicio y de conveniencia	Autoservicios
4641 Comercio al por menor de artículos para el cuidado de la salud	Comercio tradicional y moderno de artículos naturistas y farmacias con y sin minisúper	Farmacias
7223 Servicios de preparación de alimentos por encargo	Comercio moderno de la industria restaurantera	Restaurantes
7225 Servicios de preparación de alimentos y bebidas alcohólicas y no alcohólicas		

Fuente: Elaboración propia con base en el SCIAN (INEGI, 2013).

El modelo econométrico

La especificación de los modelos a estimar parte inicialmente de una función de producción tipo Cobb-Douglas. Conforme a lo expuesto por Rasmussen (2013), esta función con dos factores de producción, Trabajo y Capital (L y K respectivamente), toma la siguiente forma: $Y = AL^{\alpha}K^{\beta}$. En la que A , α , y β son parámetros predeterminados (constantes); además, en ella se expresa la relación entre los *inputs* y el *output* a través de las llamadas elasticidades de producción: la elasticidad del factor Trabajo, L , es α ($\varepsilon_L = \alpha$), y la del Capital, K , es β ($\varepsilon_K = \beta$).

No obstante, para lograr el propósito de este trabajo, es necesario hacer el planteamiento a partir de la función de producción Cobb-Douglas modificada con elasticidades variables, propuesta por Ulveling y Fletcher (1970), que toma la siguiente forma: $Y = AL^{\alpha(I)}K^{\beta(I)}$. En ella, solo A es un parámetro predeterminado (constante) y $\alpha(I)$ y $\beta(I)$ correspon-

den a las elasticidades de cada factor que son funciones de una variable continua observable, aunque nada obsta para que sea discreta (véase lo realizado por Shin & Eksioglu, 2015).

De este modo, la elasticidad del factor Trabajo, L , es $\alpha(I)$, o sea, $\varepsilon_L = \alpha(I)$, y para el factor Capital, K , es $\beta(I)$, o sea, $\varepsilon_K = \beta(I)$; por tanto, con base en esta especificación se tienen rendimientos crecientes a escala si $\alpha(I) + \beta(I) > 1$, rendimientos decrecientes a escala si $\alpha(I) + \beta(I) < 1$ y rendimientos constantes a escala si $\alpha(I) + \beta(I) = 1$.

Así, para lograr el propósito de este trabajo se propone una modelación con base en una función Cobb-Douglas modificada que considera elasticidades de producción variables cuya base es un planteamiento de diferencias en diferencias:

$$Y_{it} = AL_{it}^{(\pi_1 + \pi_2 W_i)(\pi_3 + \pi_4 C_t)} K_{it}^{(\pi_5 + \pi_6 W_i)(\pi_7 + \pi_8 C_t)}$$

De esta expresión es fácil llegar al siguiente modelo econométrico (el Modelo 1):

$$\ln Y_{it} = \ln(A) + \alpha_0 \ln L_{it} + \alpha_1 W_i \ln L_{it} + \alpha_2 C_t \ln L_{it} + \alpha_3 (W_i * C_t) \ln L_{it} + \beta_0 \ln K_{it} \\ + \beta_1 W_i \ln K_{it} + \beta_2 C_t \ln K_{it} + \beta_3 (W_i * C_t) \ln K_{it} + e_{it}$$

En donde:

- $i = 1 \dots n$ corresponde a los municipios de la muestra, en total 846 por año censal, conforme a lo planteado en la Tabla 2, en tanto que de 838 para el año de 2019 por una restricción por confidencialidad del INEGI;
- t son los años censales según corresponda (2009, 2014 y 2019);
- W_i es una variable dicotómica, donde: $W = 1$ si existe presencia de Wal-Mart en un municipio en el año correspondiente y $W = 0$ en caso contrario; aquí se identifica si en el municipio i la participación de Wal-Mart tiene un impacto sobre las elasticidades de los factores de producción;
- C_t es una variable dicotómica referida al año censal. Esta variable toma dos valores: $C = 0$ para el año base y $C = 1$ para el año final, en ambos casos según el periodo que se considere en las estimaciones;

aquí se identifica si en el municipio i existe un cambio relacionado a la temporalidad de los censos económicos;

- e. $W_i * C_t$ es una variable de interacción igual a uno ($W_i * C_t = 1$) para los municipios con la presencia de Wal-Mart en el año censal que se considere final; nótese que el coeficiente asociado a esta variable es el que mide la diferencia de los cambios promedio asociados a la presencia de Wal-Mart a través del tiempo para los municipios tratados y los de control;
- f. $\ln Y_{it}$, $\ln L_{it}$ y $\ln K_{it}$ son el logaritmo natural de la producción, el trabajo y el capital respectivamente. Las tres se toman de los Censos Económicos y se utilizan las siguientes variables: para la Producción (Y), la Producción Bruta Total (clave A111A de los Censos); para el Trabajo (L), el Personal Ocupado Total (clave H001A de los Censos); y para el Capital (K), el Acervo Total de Activos Fijos (clave Q000A de los Censos). Nótese que estas variables son estáticas, es decir, son captadas en un punto en el tiempo durante la toma del Censo;
- g. $\ln A$, los α 's y los β 's son los parámetros constantes por estimar; y
- h. e_{it} es el término de error del modelo de regresión con $e_{it} \sim N(0,1)$

Sin embargo, el modelo anterior a simple vista posee una potencial multicolinealidad ya que se esperaría que la especificación de diferencias en diferencias de la elasticidad del Trabajo esté correlacionada con la especificación de diferencias en diferencias de la elasticidad del Capital. Como una solución, se seguirá lo realizado por Ibarra Salazar *et al.*, quienes utilizan una estrategia de incluir las variables independientes por bloques, con el único objetivo de “obtener algunas estimaciones que muestren un grado de multicolinealidad aceptable, para efectos de hacer inferencia estadística e interpretar los parámetros estimados” (2021, p. 19).

De este modo, y considerando también lo realizado por Shin y Eksioglu (2015), aquí se estimarán también dos modelos que consideren diferencias en diferencias solo para un solo factor: el Modelo 2 sobre el Trabajo y el Modelo 3 sobre el Capital:

$$\ln Y_{it} = \ln(A) + \alpha_0 \ln L_{it} + \alpha_1 W_i \ln L_{it} + \alpha_2 C_t \ln L_{it} + \alpha_3 (W_i * C_t) \ln L_{it} + \beta_0 \ln K_{it} + e_{it}$$

$$\ln Y_{it} = \ln(A) + \beta_0 \ln K_{it} + \beta_1 W_i \ln K_{it} + \beta_2 C_t \ln K_{it} + \beta_3 (W_i * C_t) \ln K_{it} + \alpha_0 \ln L_{it} + e_{it}$$

Asimismo, con fines comparativos, se presentarán también las estimaciones de una función de producción Cobb-Douglas convencional (el Modelo 4):

$$\ln Y_{it} = \ln(A) + \alpha_0 \ln L_{it} + \beta_0 \ln K_{it} + e_{it}$$

En estos tres últimos modelos, las variables y los coeficientes tienen las mismas definiciones ya presentadas para el Modelo 1.

En cuanto a las variables, sus estadísticos descriptivos para los tres años Censales se presentan en la Tabla 4, la Tabla 5 y la Tabla 6, respectivamente. En todos los casos, los datos de las variables UE y L están en valores absolutos, en tanto que P y K están en millones de pesos de 2019. En cada una de las tablas, los estadísticos descriptivos se muestran agrupados con base en la presencia o no de Wal-Mart. Para el año censal 2009, sin presencia de esta empresa se consideran 498 municipios, para 2014 se tienen 333, y para 2019 son 230; y con presencia de la empresa, se consideran 348, 513 y 608 municipios, respectivamente.

Tabla 4
Estadísticos según la presencia de Wal-Mart, Censo 2009

<i>Variable W</i>	<i>Estadístico</i>	<i>UE</i>	<i>Y</i>	<i>L</i>	<i>K</i>
W=0	Min	11	0.5	22.0	0.3
	Max	4,649	1,524.2	10,929.0	834.2
	Media	465.2	111.3	1,093.3	74.8
	SD	443.2	170.9	1,133.0	104.9
	Total	231,693	55,432.9	544,448.0	37,263.7
W=1	Min	161	18.4	350.0	16.0
	Max	27,549	20,834.2	92,927.0	17,737.4
	Media	2,803.1	1,806.3	9,192.2	973.4
	SD	3,863.4	3,374.9	13,992.9	2,015.8
	Total	975,471	628,596.3	3,198,877.0	338,746.1
Total	Min	11	0.5	22.0	0.3
	Max	27,549	20,834.2	92,927.0	17,737.4
	Media	1,427	808.5	4,424.7	444.5
	SD	2,751	2,321.9	9,852.0	1,367.8
	Total	1,207,164	684,029.2	3,743,325.0	376,009.8

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2016).

Tabla 5

Estadísticos según la presencia de Wal-Mart, Censo de 2014

Variable W	Estadístico	UE	Y	L	K
W=0	Min	5	0.3	7.0	0.1
	Max	2,157	1,906.1	5,865.0	1,038.9
	Media	417.5	99.7	860.3	60.3
	SD	387.0	174.0	918.4	106.4
	Total	139,044	33,214.2	286,472.0	20,068.3
W=1	Min	138	16.8	199.0	4.6
	Max	29,253	24,138.1	90,795.0	10,712.1
	Media	2,400.4	1,570.2	7,153.1	751.0
	SD	3,696.0	3,336.4	12,448.9	1,507.7
	Total	1,231,419	805,537.4	3,669,522.0	385,242.1
Total	Min	5	0.3	7.0	0.1
	Max	29,253	24,138.1	90,795.0	10,712.1
	Media	1,619.9	991.4	4,676.1	479.1
	SD	3,045.6	2,697.0	10,183.2	1,223.0
	Total	1,370,463	838,751.6	3,955,994.0	405,310.4

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2016).

Tabla 6

Estadísticos según la presencia de Wal-Mart, Censo de 2019

Variable W	Estadístico	UE	Y	L	K
W=0	Min	3	0.4	5.0	0.0
	Max	3,032.0	1,172.2	5,926.0	2,097.1
	Media	432.0	123.0	885.3	86.0
	SD	424.2	192.2	951.6	237.5
	Total	99,369	28,297.9	203,626.0	19,769.8
W=1	Min	54	5.6	93.0	2.5
	Max	31,661	38,984.2	101,196.0	13,637.8
	Media	2,326.4	1,924.2	7,289.3	838.8
	SD	3,801.4	4,375.0	13,794.5	1,832.6
	Total	1,414,449	1,169,928.0	4,431,892.0	510,010.9
Total	Min	3	0.4	5.0	0.0
	Max	31,661	38,984.2	101,196.0	13,637.8
	Media	1,806.5	1,429.9	5,531.6	632.2
	SD	3,353.2	3,812.9	12,100.5	1,601.2
	Total	1,513,818	1,198,226.0	4,635,518.0	529,780.7

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2016).

Resultados y discusión

Los resultados de las estimaciones de los modelos se pueden ver en la Tabla 7, la Tabla 8 y la Tabla 9 para los subperiodos que van de 2009 a 2014, de 2014 a 2019 y de 2009 a 2019, respectivamente. En dichas tablas se presentan los resultados con errores robustos a la heteroscedasticidad y en todos los casos se rechaza la hipótesis nula de no significancia conjunta.

Por lo que respecta a la significancia individual de los coeficientes, para el subperiodo que va de 2009 a 2014 (véase la Tabla 7), con excepción de algunos coeficientes del Modelo 1 (los relacionados a las variables $W*\ln(L)$, $W*C*\ln(L)$, $W*\ln(K)$, $C*\ln(K)$ y $W*C*\ln(K)$), en todas las estimaciones con al menos un 90 % de confianza se rechaza la hipótesis nula; algo similar pasa para subperiodo que va de 2014 a 2019 (véase la Tabla 8), en el que solo el coeficiente de la variable $W*\ln(K)$ en el Modelo 1 y el de la variable $W*C*\ln(K)$ en el Modelo 3 son no significativos; y de igual manera, para el periodo que va de 2009 a 2019 (véase la Tabla 9) también tenemos algunos coeficientes no significativos, estos en el Modelo 1 y asociados a las variables $W*\ln(L)$, $W*C*\ln(L)$, $W*\ln(K)$, y $W*C*\ln(K)$.

Tabla 7

Estimación de los modelos de regresión (del 1 al 4), años 2009 a 2014

Variable	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
	Coef.	P> t	Coef.	P> t	Coef.	P> t	Coef.	P> t
$\ln(L)$	0.726***	0.000	0.733***	0.000	0.747***	0.000	0.760***	0.000
$W*\ln(L)$	0.015	0.554	0.016***	0.000				
$C*\ln(L)$	0.041*	0.090	0.027***	0.000				
$W*C*\ln(L)$	0.012	0.713	-0.009*	0.052				
$\ln(K)$	0.444***	0.000	0.427***	0.000	0.403***	0.000	0.438***	0.000
$W*\ln(K)$	-0.003	0.949			0.027***	0.000		
$C*\ln(K)$	-0.025	0.546			0.045***	0.000		
$W*C*\ln(K)$	-0.025	0.626			-0.020***	0.008		
_cons	-2.429***	0.000	-2.414***	0.000	-2.405***	0.000	-2.515***	0.000
Obs	1,692							
F	6389.83		7631.5		7968.11		17081.86	
Prob > F	0.000		0.000		0.000		0.000	
R-squared	0.966		0.966		0.966		0.964	

***, **, * Significativo al 99 %, 95 % y 90 % de confianza respectivamente.

Nota 1: La prueba F de significancia conjunta asume la H_0 de que todas las variables independientes conjuntamente son iguales a cero.

Nota 2: Para las regresiones se utilizaron errores robustos a la heteroscedasticidad.

Nota 3: En este modelo $C=0$ corresponde a 2009 y $C=1$ a 2014.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2016).

Tabla 8

Estimación de los modelos de regresión (del 1 al 4), años 2014 a 2019

Variable	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
	Coef.	P> t	Coef.	P> t	Coef.	P> t	Coef.	P> t
ln(L)	0.701***	0.000	0.773***	0.000	0.801***	0.000	0.822***	0.000
W*ln(L)	0.027	0.164	0.027***	0.000				
C*ln(L)	0.151***	0.000	0.034***	0.000				
W*C*ln(L)	-0.048*	0.061	-0.013***	0.018				
ln(K)	0.459***	0.000	0.343***	0.000	0.301***	0.000	0.354***	0.000
W*ln(K)	-0.022	0.478			0.042***	0.000		
C*ln(K)	-0.218***	0.000			0.041***	0.000		
W*C*ln(K)	0.099**	0.019			-0.012	0.182		
_cons	-2.141***	0.000	-2.209***	0.000	-2.213***	0.000	-2.385***	0.000
Obs	1684							
F	7508.7		7651.12		7864.11		15546.98	
Prob > F	0.000		0.000		0.000		0.000	
R-squared	0.972		0.971		0.970		0.967	

***, **, * Significativo al 99 %, 95 % y 90 % de confianza respectivamente.

Nota 1: La prueba F de significancia conjunta asume la H_0 de que todas las variables independientes conjuntamente son iguales a cero.

Nota 2: Para las regresiones se utilizaron errores robustos a la heteroscedasticidad.

Nota 3: En este modelo $C=0$ corresponde a 2014 y $C=1$ a 2019.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2016).

Tabla 9

Estimación de los modelos de regresión (del 1 al 4), años 2009 a 2019

Variable	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
	Coef.	P> t	Coef.	P> t	Coef.	P> t	Coef.	P> t
ln(L)	0.729***	0.000	0.799***	0.000	0.834***	0.000	0.848***	0.000
W*ln(L)	0.015	0.553	0.028***	0.000				
C*ln(L)	0.189***	0.000	0.059***	0.000				
W*C*ln(L)	-0.038	0.221	-0.020***	0.000				
ln(K)	0.443***	0.000	0.326***	0.000	0.270***	0.000	0.348***	0.000
W*ln(K)	-0.003	0.942			0.046***	0.000		
C*ln(K)	-0.236***	0.000			0.079***	0.000		
W*C*ln(K)	0.074	0.134			-0.027***	0.003		
_cons	-2.442***	0.000	-2.474***	0.000	-2.468***	0.000	-2.649***	0.000
Obs	1,684							
F	5881.15		6294.95		6282.24		11070.45	
Prob > F	0.000		0.000		0.000		0.000	
R-squared	0.966		0.964		0.962		0.953	

***, **, * Significativo al 99 %, 95 % y 90 % de confianza respectivamente.

Nota 1: La prueba F de significancia conjunta asume la Ho. de que todas las variables independientes conjuntamente son iguales a cero.

Nota 2: Para las regresiones se utilizaron errores robustos a la heteroscedasticidad.

Nota 3: En este modelo C=0 corresponde a 2009 y C=1 a 2019.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2016).

Sin embargo, la no significancia de algunos de los coeficientes, principalmente del Modelo 1, se debe a un posible problema de multicolinealidad, detectado desde su planteamiento: el VIF promedio de este modelo es de 91.67 para las estimaciones de 2009, de 81.34 para las de 2014 y de 87.54 para las de 2019. Además, es de notar que en todos los casos el VIF de los Modelos 2 y 3 disminuye considerablemente, situándolo prácticamente en todos los casos por debajo o muy cercano al valor de referencia de 10.

En consecuencia, siguiendo lo expuesto sobre el tema por Gujarati y Porter (2010) y lo realizado por Ibarra Salazar (2021), para el análisis de este trabajo se considerarán las estimaciones del Modelo 1. En la Tabla 10, la Tabla 11 y la Tabla 12 se pueden apreciar los cálculos de las elasticidades correspondientes.

Tabla 10

Elasticidades estimadas a partir del Modelo 1, años 2009 a 2014

<i>Grupo de municipios</i>	<i>Elasticidad</i>		<i>Escala de producción</i>
	<i>Del Trabajo</i>	<i>Del Capital</i>	
C=0, W=0	0.726	0.444	1.170
C=0, W=1	0.741	0.442	1.183
C=1, W=0	0.767	0.419	1.186
C=1, W=1	0.794	0.392	1.185
Nota: En este modelo C=0 corresponde a 2009 y C=1 a 2014.			

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones de los modelos.

Tabla 11

Elasticidades estimadas a partir del Modelo 1, años 2014 a 2019

<i>Grupo de municipios</i>	<i>Elasticidad</i>		<i>Escala de producción</i>
	<i>Del Trabajo</i>	<i>Del Capital</i>	
C=0, W=0	0.701	0.459	1.160
C=0, W=1	0.727	0.437	1.164
C=1, W=0	0.852	0.241	1.093
C=1, W=1	0.831	0.317	1.148
Nota: En este modelo C=0 corresponde a 2014 y C=1 a 2019.			

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones de los modelos.

Tabla 12

Elasticidades estimadas a partir del Modelo 1, años 2009 a 2019

<i>Grupo de municipios</i>	<i>Elasticidad</i>		<i>Escala de producción</i>
	<i>Del Trabajo</i>	<i>Del Capital</i>	
C=0, W=0	0.729	0.443	1.171
C=0, W=1	0.744	0.440	1.184
C=1, W=0	0.918	0.206	1.124
C=1, W=1	0.895	0.277	1.172
Nota: En este modelo C=0 corresponde a 2009 y C=1 a 2019.			

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones de los modelos.

Con base en los cálculos presentados, sobre el subperiodo que va de 2009 a 2014 (en la Tabla 10) se puede decir lo siguiente:

- Con independencia del año censal, el impacto de la presencia de Wal-Mart es positivo sobre la elasticidad del Trabajo: aumenta de 0.726 a 0.741 en 2009, en tanto que va de 0.767 a 0.794 para 2014 (véase la Tabla 10); y
- En contraposición, para el Capital el efecto es negativo: en 2009 se tiene una disminución de 0.444 a 0.442, en tanto que va de 0.419 a 0.392 para 2014.

Así, en este subperiodo se verifican dos tipos de efectos sobre las elasticidades de los factores de producción, lo cual es congruente con el planteamiento realizado para el Trabajo, y contrario a la expectativa en el caso del Capital.

Por lo que respecta a la escala de producción, se tiene que en todos los casos los municipios en análisis operan con rendimientos crecientes a escala ($\alpha + \beta > 1$). Es interesante notar cómo las resultantes de los efectos sobre Trabajo y Capital generan efectos mixtos: en 2009 la escala de producción aumenta y pasa de 1.170 a 1.183, en tanto que baja ligeramente de 1.186 a 1.185 para 2014. Evidentemente, la presencia de Wal-Mart vuelve más productivo al sector en su conjunto en el año 2009, en tanto que la disminuye ligeramente en 2014.

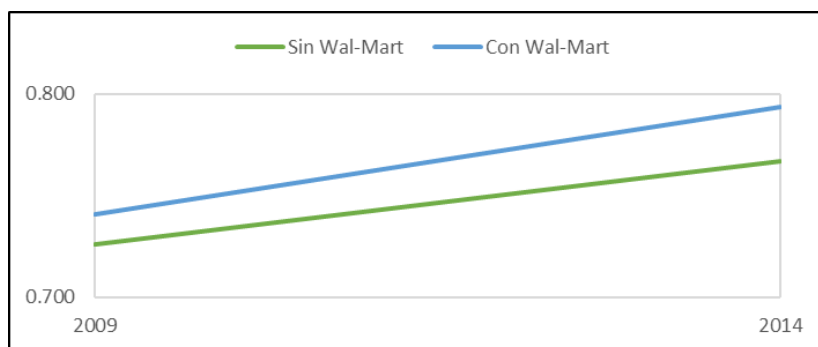
No obstante, lo importante de los modelos de diferencias en diferencias es la trayectoria en el tiempo de la variable dada la diferenciación de la característica en estudio. Así, para el subperiodo que va de 2009 a 2014 se tiene que:

- a. La trayectoria de la elasticidad del Trabajo es en aumento (véase la Gráfica 1): para los que no tienen la presencia de Wal-Mart va de 0.726 en 2009 a 0.767 en 2014, se incrementa en un 5.63 %; y para los que sí la tienen va de 0.741 a 0.794, tienen un incremento mayor, del 7.10 %; y
- b. En cuanto al Capital, la trayectoria de la elasticidad de los dos grupos de municipios es de una disminución (véase la Gráfica 2): para los que no tienen la presencia de Wal-Mart va de 0.444 en 2009 a 0.419 en 2014, decrece en un 5.66 %; y para los que sí la tienen va de 0.442 a 0.392, tienen un decremento mayor, del 11.33 %.

Por lo tanto, se puede presentar la trayectoria del total de los factores de producción, que para ambos grupos de municipios es creciente (véase la Gráfica 3). Así, los rendimientos totales en aquellas entidades municipales que carecen de la presencia de Wal-Mart van de 1.170 a 1.186, se trata de un aumento del 1.34 %; en tanto que en aquellos que sí cuentan con dicha empresa van de 1.183 a 1.185, por lo que experimentan un aumento más moderado, de tan solo el 0.22 %.

Gráfica 1

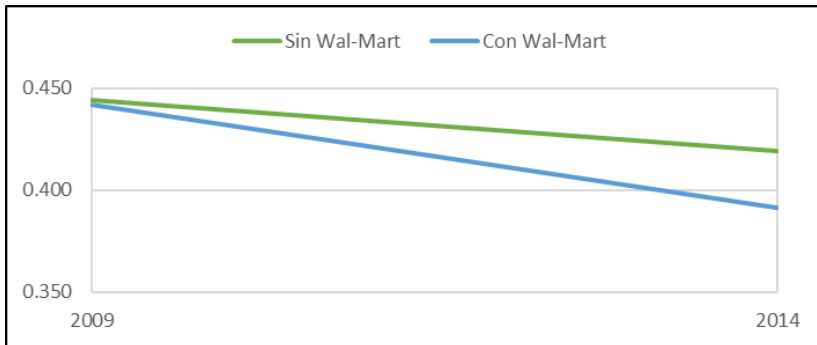
Trayectoria de la Elasticidad del Trabajo (2009 a 2014)



Fuente: Elaboración propia con base en la estimación del Modelo 1.

Gráfica 2

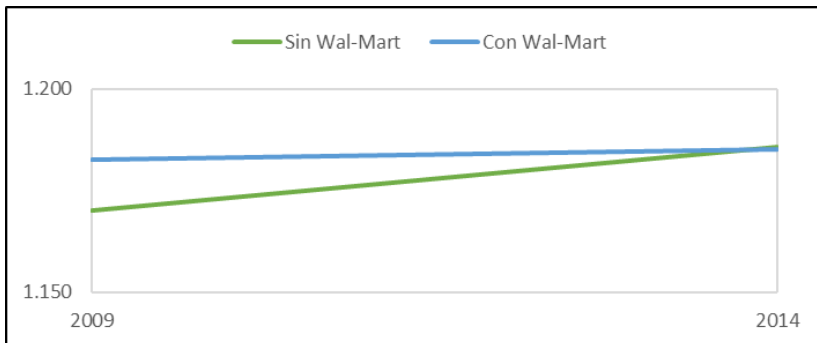
Trayectoria de la Elasticidad del Capital (2009 a 2014)



Fuente: Elaboración propia con base en la estimación del Modelo 1.

Gráfica 3

Trayectoria de la Escala de Producción (2009 a 2014)



Fuente: Elaboración propia con base en la estimación del Modelo 1.

Y, en el mismo orden de ideas, para el subperiodo que va de 2014 a 2019, con base en los cálculos de las elasticidades (véase la Tabla 11), se puede decir lo siguiente:

- El impacto de la presencia de Wal-Mart bajo la óptica del Modelo 1 es mixto sobre la elasticidad del Trabajo: aumenta de 0.701 a 0.727 en 2014, en tanto que disminuye de 0.852 a 0.831 para 2019 (véase la Tabla 11); y

- b. Si se mira a la elasticidad del Capital el efecto también es mixto, pero, al contrario: en 2014 disminuye de 0.459 a 0.437, en tanto que aumenta de 0.241 a 0.317 para 2019.

Así pues, estos efectos mixtos de la presencia de Wal-Mart sobre las elasticidades de los factores de producción contrastan con la expectativa de un aumento por la presencia de dicha empresa en un determinado municipio.

Por lo que respecta a la escala de producción, el sector opera con rendimientos crecientes a escala ($\alpha + \beta > 1$). Es interesante notar cómo las resultantes de los efectos ya mencionados generan en los dos años censales aumentos en la escala de producción: así, en 2014 la escala pasa de 1.160 a 1.164, en tanto que va de 1.093 a 1.148 para 2019. Evidentemente, la presencia de Wal-Mart vuelve más productivo al sector en su conjunto en ambos años.

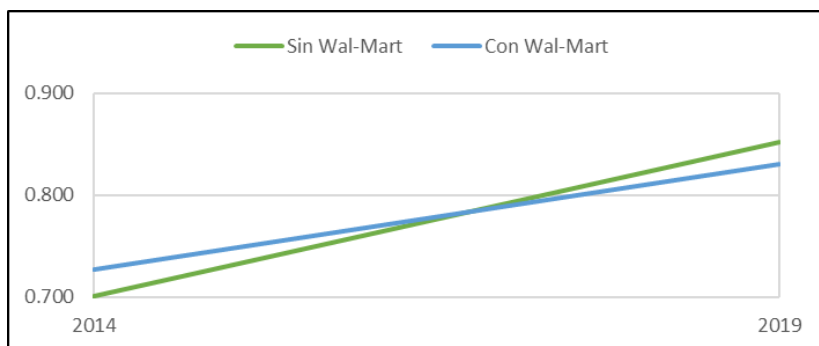
Y, si se analiza la trayectoria de la variable, se tiene que:

- a. La elasticidad del Trabajo de los municipios aumenta (véase la Gráfica 4): para los que no tienen la presencia de Wal-Mart esta va de 0.701 en 2014 a 0.852 en 2019, se incrementa en un 21.59 %; y para los que sí la tienen va de 0.727 a 0.831, tienen un incremento del 14.21 %; y
- b. En cuanto a la elasticidad del Capital, la trayectoria de los dos grupos de municipios es de disminución (véase la Gráfica 5): para los que no tienen la presencia de Wal-Mart va de 0.459 en 2014 a 0.241 en 2019, decrece en un 47.48 %; y para los que sí la tienen va de 0.437 a 0.317, tienen un decremento del 27.32 %.

Por lo tanto, se puede presentar la trayectoria de la escala de producción, que para ambos grupos de municipios es decreciente (véase la Gráfica 6). Por consiguiente, los rendimientos totales en aquellos que carecen de la presencia de Wal-Mart van de 1.160 a 1.093, se presenta una disminución del 5.75 %; en tanto que en aquellos que sí cuentan con dicha empresa van de 1.164 a 1.148, por lo que experimentan un decremento más moderado, de solo el 1.37 %.

Gráfica 4

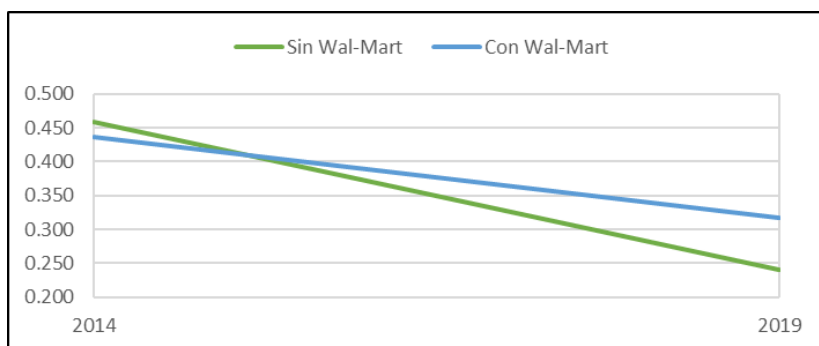
Trayectoria de la Elasticidad del Trabajo (2014 a 2019)



Fuente: Elaboración propia con base en la estimación del Modelo 1.

Gráfica 5

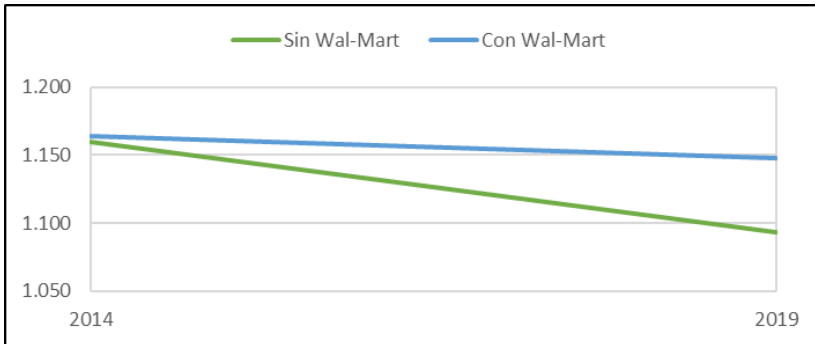
Trayectoria de la Elasticidad del Capital (2014 a 2019)



Fuente: Elaboración propia con base en la estimación del Modelo 1.

Gráfica 6

Trayectoria de la Escala de Producción (2014 a 2019)



Fuente: Elaboración propia con base en la estimación del Modelo 1.

Por último, los cálculos de las elasticidades para el periodo completo, de 2009 a 2019 (véase la Tabla 12), permiten los siguientes puntos de análisis sobre el impacto de la presencia de Wal-Mart, que es diverso:

- Sobre la elasticidad del Trabajo: aumenta de 0.729 a 0.744 en 2009, en tanto que disminuye de 0.918 a 0.895 para 2019 (véase la Tabla 12); y
- Por otro lado, la elasticidad del Capital: en 2009 presenta una disminución que va de 0.443 a 0.440, en tanto que aumenta de 0.206 a 0.277 para 2019.

Por consiguiente, se verifican efectos mixtos sobre las elasticidades de los factores de producción, contrario a la expectativa de observar solo aumentos ante la presencia de dicha empresa en un municipio.

Por lo que hace a la escala de producción del sector, este posee rendimientos crecientes ($\alpha + \beta > 1$), aunque es interesante notar cómo, a pesar de los efectos mixtos ya mencionados, la presencia de Wal-Mart en cada año los incrementa: así, en 2009 la escala va de 1.171 a 1.184, en tanto que va de 1.124 a 1.172 para 2019. Evidentemente, la presencia de esta empresa vuelve más productivo al sector.

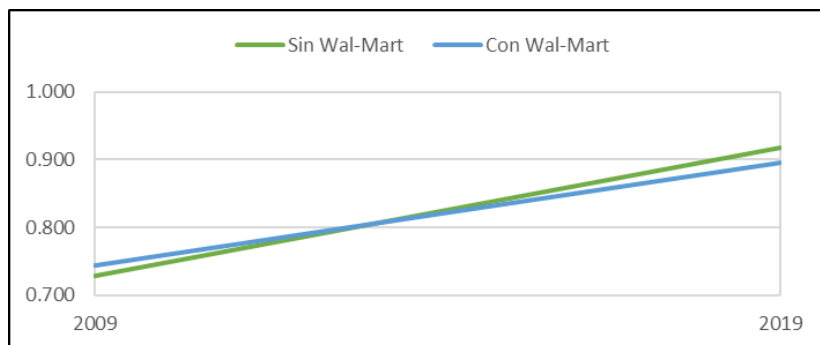
No obstante, la trayectoria en el tiempo para el periodo en análisis muestra que:

- a. La elasticidad del Trabajo (véase la Gráfica 7) para los municipios sin la presencia de Wal-Mart va de 0.729 en 2009 a 0.918 en 2019, se incrementa en un 25.9 %; y para los que sí la tienen va de 0.744 a 0.895, tienen un incremento más moderado, de solo el 20.32 %; y,
- b. La elasticidad del Capital para los dos grupos de municipios es de disminución (véase la Gráfica 8): para los que no tienen la presencia de Wal-Mart va de 0.443 en 2009 a 0.206 en 2019, decrece en un 53.36 %; y para los que sí la tienen va de 0.440 a 0.277, tienen un decremento más moderado, de solo el 36.91 %.

Por lo tanto, se puede presentar la trayectoria del total de los factores de producción, que en ambos grupos de municipios es decreciente (véase la Gráfica 9). Los rendimientos totales sin la presencia de Wal-Mart van de 1.171 a 1.124, presentan una reducción del 4.04 %; en tanto que los que sí cuentan con dicha empresa van de 1.184 a 1.172, por lo que experimentan una menor caída, de solo el 0.93 %.

Gráfica 7

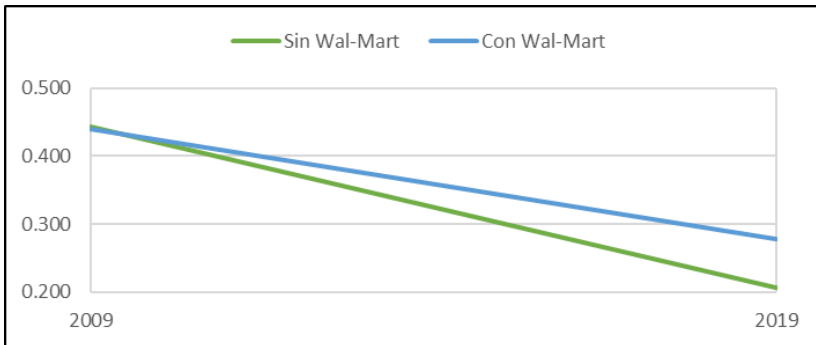
Trayectoria de la Elasticidad del Trabajo (2009 a 2019)



Fuente: Elaboración propia con base en la estimación del Modelo 1.

Gráfica 8

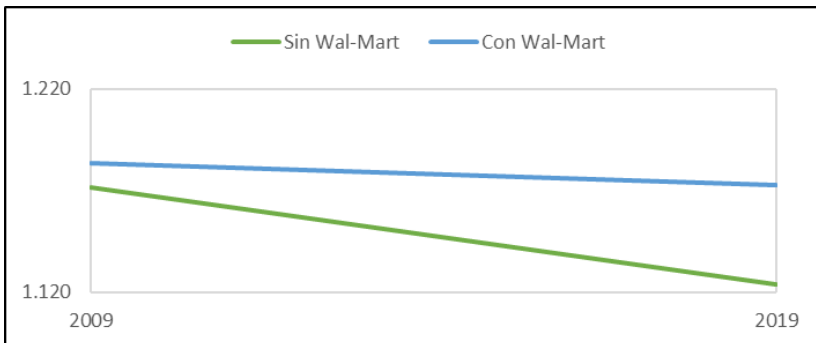
Trayectoria de la Elasticidad del Capital (2009 a 2019)



Fuente: Elaboración propia con base en la estimación del Modelo 1.

Gráfica 9

Trayectoria de la Escala de Producción (2009 a 2019)



Fuente: Elaboración propia con base en la estimación del Modelo 1.

Conclusiones

A partir de los resultados presentados, se puede argumentar que la expansión de Wal-Mart es estadísticamente significativa sobre los rendimientos de los factores de producción y la escala de producción del sector alimentario. De hecho, esta influencia es particularmente ilustrada a partir de la Gráfica 7, la Gráfica 8 y la Gráfica 9, en las que se nota ante la presencia

de dicha empresa una trayectoria de disminución de la elasticidad del Trabajo, de incremento en la elasticidad del Capital y, por consiguiente, de incremento de la elasticidad de escala del sector; resultados en cierto modo acordes con lo que Gasca y Torres (2014), Harner (2007), Minei y Matusitz (2013) y Schwentesius Rinderman y Gómez Cruz (2006) argumentan en el sentido de que los CEDIS ayudan a la generación de economías de escala de la cadena de abasto de alimentos.

Por tanto, los efectos mostrados en este trabajo se inscriben en la literatura que trata acerca de los impactos sobre las unidades económicas (el Capital) y sobre el factor trabajo del sector del comercio al por menor, de modo que los resultados expuestos muestran la capacidad del comercio moderno, representado principalmente por Wal-Mart, para reconfigurar al sector minorista-alimentario de México a través del tiempo; además, cabe resaltar que el presente análisis pone de manifiesto también los efectos de la apertura y globalización del sector, según lo expuesto por Atkin *et al.* (2018) y Torres Torres (2011), así como los de la inversión extranjera directa que se han presentado en las últimas décadas, principalmente por parte de Wal-Mart (Iacovone *et al.*, 2015).

Y nótese que este hallazgo es aún más significativo si se considera que cuando menos en el periodo de los tres Censos en estudio, la estrategia de expansión de dicha empresa ha sido con base en aperturas de unidades de negocio y no a partir de adquisiciones de otras cadenas comerciales en el país.

Con base en estos hallazgos se logra cumplir el objetivo planteado del presente trabajo. Solo resta mencionar que empíricamente en trabajos futuros se sugiere profundizar en dos sentidos: a) sería pertinente llevar este mismo análisis a otros sectores que no son parte de la definición aquí propuesta para el sector alimentario, pero que guardan una relación estrecha con él, tal sería el caso del autotransporte de carga o las empresas de logística internacional; y b) se sugiere llevar el análisis del impacto del comercio moderno (a través del impacto de la expansión y/o presencia de Wal-Mart) a otras variables relacionadas con la cadena de abasto, tal sería el caso de la Seguridad Alimentaria.

Referencias bibliográficas

- Álvarez Galván, J. L. & Tilly, C. (2006). Participación extranjera en las tiendas de autoservicio en México: el efecto de Wal-Mart. *Comercio Exterior*, 56(11), 945-959.
- (2008). El tamaño sí importa: Monopolio, el monopsonio y el impacto de Wal-Mart en México. *Economía Informa*, 351(mar.-abr.), 126-142.
- Atkin, D., Faber, B. & Gonzalez-Navarro, M. (2018). Retail Globalization and Household Welfare: Evidence from Mexico. *Journal of Political Economy*, 126(1), 1-73. <https://doi.org/10.1086/695476>
- Camacho Gómez, M. & Pérez Berlanga, G. (2013). Restaurantes Toks: estrategias de responsabilidad social. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 23(49), 141-155.
- Casado Izquierdo, J. M. (2018). Supermercados en México: expansión y espacios de inserción. *Estudios Geográficos*, 79(284), 167-190. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201807>
- Castillo Girón, V. M. & Ayala Ramírez, S. (2014). La distribución de alimentos y bebidas en México: una perspectiva desde el comercio tradicional. *Espacio Abierto. Cuaderno Venezolano de Sociología*, 23(4), 661-681.
- Castillo Girón, V. M., Ayala Ramírez, S., López Jiménez, D. & Vargas Portillo, J. P. (2014). El comercio moderno: un vector que dinamiza el sistema alimentario en México. *Economía Del Caribe*, 13(ene.-jun.), 1-35.
- Castillo Girón, V. M., Machuca Martínez, M. & Ayala Ramírez, S. (2019). Impacto laboral de Wal-Mart en la productividad laboral. Un análisis por municipio en México. *Small Business International Review*, 3(2), 34-48. <https://econpapers.repec.org/RePEc:aaz:sbir01:v:3:y:2019:i:2:p:34-48>
- CONAPO (2020). *Sistema urbano nacional y zonas metropolitanas*. <https://www.gob.mx/conapo/acciones-y-programas/sistema-urbano-nacional-y-zonas-metropolitanas>
- Contreras-Valenzuela, A. C., Preciado-Rodríguez, J. M., Báez-Sañudo, R., Robles-Parra, J. M., Taddei-Bringas, C. & Velderrain Benitez, R. A. (2018). Certificaciones agrícolas como conducta estratégica del sistema vid de mesa sonoreño. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81355612001>

- Dove, K., Kurtz, M. & Noorudin, I. (2006). The changing face of retail: Wal-Mart's effect on retail sector employment in Mexico. En *Political Science*. Ohio State University.
- Durand, C. (2005). *Externalities from FDI in the Mexican self-service retailing sector*. UNAM.
- Espinoza Arellano, J. de J., Ramírez Menchaca, A., Guerrero Ramos, L. A. & López Chavarría, S. (2017). Estrategias, alianzas y portafolio de negocios para desarrollar la competitividad del cultivo del melón en la Comarca Lagunera, México. *Nova Scientia*, 9(19), 441-463. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203353519024>
- García Medina, C. (2012). Globalización y fragmentación territorial. El caso de la región del istmo oaxaqueño. *Universitas, Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 17, 89-99. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476147385005>
- Gasca, J. & Torres, F. (2014). El control corporativo de la distribución de alimentos en México. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 45(176), 133-155. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=94749609&site=ehost-live>
- Gereffi, G. & Christian, M. (2009). The Impacts of Wal-Mart: The Rise and Consequences of the World's Dominant Retailer. *Annual Review of Sociology*, 35(2009), 573-591. <http://www.jstor.org/stable/27800092>
- González Chávez, H. & Macías Macías, A. (2007). Vulnerabilidad alimentaria y política agroalimentaria en México. *Desacatos*, 25(2007), 47-78. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-92742007000300003&nrm=iso
- González Estrada, A. (2016). Industrialización y transnacionalización de la agricultura mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 693-707.
- González Ortiz, F. & Vega Bolaños, S. (2016). Mercados itinerantes. Estudio comparativo de dos mercados en México. *Revista de Ciencias Sociales (Cr)*, 1(151), 127-149.
- Guerrero Martínez, D. G. (2012). Factores clave de éxito en el negocio del retail. *Ingeniería Industrial*, 30(2012), 189-205.
- Gujarati, D. N. & Porter, D. C. (2010). *Econometria* (5ª ed.). Mc-Graw Hill. <http://books.google.com.mx/books?id=MflQcgAACAAJ>
- Harner, J. (2007). Globalization of Food Retailing in Guadalajara, Mexico: Changes in Access Equity and Social Engagement. *Journal of Latin American Geography*,

- 6(2), 33-53. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eoah&AN=12329062&site=ehost-live>
- Iacovone, L., Javorcik, B., Keller, W. & Tybout, J. (2015). Supplier responses to Walmart's invasion in Mexico. *Journal of International Economics*, 95(1), 1-15. <https://doi.org/http://doi.org/10.1016/j.jinteco.2014.08.003>
- Ibarra Salazar, J., De la Fuente Pérez, D. P. & Miravete Martínez, M. F. (2021). La incidencia del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios al tabaco en México. *Contaduría y Administración*, 66(1). <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2021.2385>
- INEGI (2013). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México 2013*. INEGI. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/clasificadores/SCIAN/SCIAN_2013/702825051693.pdf
- (2015). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6>
- (2016). *Censos Económicos 2004-2014*. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/censos-economicos-2004-2014>
- Lagakos, D. (2009). *Superstores or mom and pops? Technology adoption and productivity differences in retail trade* (Vol. 428). Federal Reserve Bank of Minneapolis. <https://econpapers.repec.org/RePEc:fip:fedmsr:428>
- Livio de los Ríos Cortés, V. (2007). Las fusiones y adquisiciones en México en el periodo reciente 1986-2005. *Economíaunam*, 4(12), 60-92.
- Lugo Morín, D. R. (2013). Supermercados, estrategias y pequeños productores hortícolas en el municipio de Acatzingo: el caso Walmart. *Economía, Sociedad y Territorio*, 42(may.-ago.), 315-349.
- Massieu Trigo, Y. (2017). Movimiento indígena, ordenamiento territorial y biodiversidad en Cuetzalan, Puebla. *Argumentos*, 30(83), 119-148. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=59552649006>
- Minei, E. & Matusitz, J. (2013). Diffusion and glocalization: dialectical tensions for Wal-Mart de México. *Global Business Perspectives*, 1(2), 106-121. <https://doi.org/10.1007/s40196-013-0012-9>
- Moreno Lázaro, J. (2012). Los españoles y la revolución comercial mexicana: las cadenas de supermercados, 1921-2011. *Investigaciones de Historia Económica*, 8(2), 69-82. <https://doi.org/http://doi.org/10.1016/j.ihe.2011.08.015>

- Moreno Perez, A. R. & Villalobos Magaña, M. (2010). Dinámica reciente del gran comercio al por menor en México e implicaciones en sus regiones socioeconómicas. *Expresión Económica*, 25, 91-114.
- Paswan, A., Santarriaga Pineda, M. de los D. & Soto Ramírez, F. C. (2010). Small versus large retail stores in an emerging market—Mexico. *Journal of Business Research*, 63(7), 667-672. <https://doi.org/http://doi.org/10.1016/j.jbusres.2009.02.020>
- Pérez-Ramírez, C. A. & Antolín-Espinosa, D. I. (2016). Programa pueblos mágicos y desarrollo local: actores, dimensiones y perspectivas en El Oro, México. *Estudios Sociales*, 25(47), 218-242. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41744004009>
- Rasmussen, S. (2013). *Production Economics: The Basic Theory of Production Optimisation* (2ª ed.). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30200-8_2
- Rodríguez, J. P., Chasco, C. & García, S. (2014). Impacto de la expansión de Walmart en México sobre las condiciones de trabajo en el sector comercial minorista. *Investigación y Marketing*, 122, 22-26.
- Sánchez, G. V. & Peralta, C. M. R. (2016). Oligopolio y estrategias de competencia en el mercado de minoristas en México. *Economía Informa*, 400(2016), 3-23. <https://doi.org/http://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.09.002>
- Schwentenius Rinderman, R. & Gómez Cruz, M. Á. (2006). Supermercados y pequeños productores hortifrutícolas en México. *Comercio Exterior*, 56(3), 205-218.
- Shin, S. & Eksioglu, B. (2015). An empirical study of RFID productivity in the U.S. retail supply chain. *International Journal of Production Economics*, 163(Supplement C), 89-96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.016>
- Torres, D. A. & Vicente, A. S. (2008). Microempresas y cadenas transnacionales. El caso de WalMart en Michoacán. Enfoque desde el desarrollo local. *Economía y Sociedad*, xiv(21), 111-129. <http://econpapers.repec.org/RePEc:qui:ecosoc:y:2008:i:21:p:111-129>
- Torres Gastelú, C. A. (2012). La participación de las grandes cadenas de supermercados en las redes de comercialización de los pequeños productores. *Nueva Antropología*, xxv(77), 109-132.
- Torres Salcido, G. & Pensado Leglise, M. del R. (2006). Los mercados públicos en la Ciudad de México. Su papel en la configuración de identidades territoriales

- y su relación con sistemas locales de producción. En Alter (ed.), *III Congreso Internacional de la Red Sial "Alimentación y Territorio"*.
- Torres Torres, F. (2011). El abasto de alimentos en México hacia una transición económica y territorial. *Problemas del Desarrollo*, 42(166), 63-84. <https://doi.org/http://www.revistas.unam.mx/index.php/pde/issue/archive>
- Torres Torres, F. & Rojas Martínez, A. (2016). Expectativas de la distribución electrónica de alimentos en México. *Estudios Sociales: Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 26(48), 133-163.
- Turner Barragán, E. H. & Martínez Pére, J. F. (2003). Inversión extranjera y empleo en México. *Análisis Económico*, xviii(37), 221-239. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41303711>
- Ulveling, E. F. & Fletcher, L. B. (1970). A Cobb-Douglas Production Function with Variable Returns to Scale. *American Journal of Agricultural Economics*, 52(2), 322-326. <https://doi.org/10.2307/1237508>
- Varela, M. J. (2011). The costs of growth: estimating entry costs during rollouts. *Working Paper*.
- (2018). The costs of growth: Accelerated growth and crowd-out in the Mexican supermarket industry. *International Journal of Industrial Organization*, 61, 1-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2018.08.006>
- Wal-Mart (2017). *Proveedores*. <http://www.walmartmexico.com/proveedores>
- (2019). *Relación con inversionistas*. <http://walmex.mx/>
- Yurkievich, G. & Sánchez Crispín, Á. (2016). Estructura territorial de la actividad pesquera en Guaymas, Sonora. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 91(2016), 152-167.

ECONOMÍA Y FINANZAS

CAPÍTULO 8

PAIRS TRADING BASADA EN COINTEGRACIÓN DE ACTIVOS PARA EL MERCADO DE CAPITALES MEXICANO

DANIEL GONZÁLEZ OLIVARES
AZAEL CARRILLO CABRERA

Introducción

Como es bien sabido, la hipótesis de los mercados eficientes prescribe que los precios de los activos siguen una caminata aleatoria. Es decir, los retornos de los activos vienen de una misma distribución de probabilidad y son independientes entre ellos. Esto nos sugiere que los retornos pasados no nos dan información útil para predecir los retornos futuros. En su forma más simple, esta hipótesis de eficiencia dice que el precio de los activos releja toda la información existente. Fama (1995) comenta que, en promedio, en los mercados eficientes, la constante oferta y demanda, y la liquidez del mercado resultan en que la nueva información sobre el valor intrínseco del activo se ve reflejada de inmediato en su precio.

Estudios empíricos como el de Kausik y Yangru (2003), sin embargo, encuentran pruebas empíricas de que algunos mercados no cumplen con las características de una caminata aleatoria, no obstante, la información encontrada no es concluyente y, por lo tanto, cuál modelación se puede aplicar a los retornos de los activos sigue siendo vaga. Kausik y Yangru (2003), de la misma manera, presentan un estudio de múltiples mercados emergentes en el que algunos tienen ciertas características de caminatas aleatorias mientras que otros no, y Dockery y Vergari (1997), en un trabajo puntual para Budapest, encuentran que ese mercado sí sigue los pará-

metros de la teoría de las caminatas aleatorias. Este problema se vuelve, entonces, omnipresente en los mercados con alta liquidez, basándonos en la hipótesis de la eficiencia de los mercados.

Uno de los modelos más comunes de selección de portafolios es el de la Teoría Moderna de la Cartera (MPT por sus siglas en inglés), que es una generalización del trabajo de Markowitz (1952). Al igual que todos los trabajos existentes hasta los inicios de las estrategias de *trading* algorítmicas, estos modelos MPF sufren de perder oportunidades de rendimiento sobre los movimientos naturales de los activos, dado que toman una estrategia de optar por una posición y olvidarse del portafolio por un largo periodo de tiempo. De la misma manera, los modelos como MPT tienen la característica de tomar la posición de la teoría de Dow, cuyo fundamento se sustenta en la premisa de que la historia presenta patrones, y que las tendencias tienden a mantenerse (hasta que no lo hacen). Así, el MPT toma como modelo el pasado y espera que se repita durante un largo periodo de tiempo, sin muchas restricciones ni seguridades incluidas en el modelo.

En este artículo utilizamos una técnica alternativa a la modelación de los portafolios en la que el analista o asesor interesado no necesitará modelar los propios retornos de los activos, sino simplemente su relación frente a otro activo con el que forme un vector de cointegración. Es decir, utilizamos métodos de cointegración para modelar una tendencia en común de largo plazo entre los activos. El modelo de cointegración es aplicado en una estrategia de *pairs trading* neutral al dólar. Se prueba en más de 400 pares del Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) de la bolsa mexicana de valores y se eligen los mejores pares para tomar posiciones de compra y venta con base a las desviaciones de la tendencia del *spread*, concepto que será introducido y contextualizado en secciones posteriores.

Nuestro modelo presenta similitudes con el de Caldeira y Moura (2013), aunque el de nosotros presenta reglas de *trading* modificadas y es aplicado al mercado mexicano. Además, aquí presentamos un enfoque más programático a la metodología, con un objetivo de reproducibilidad, a diferencia de la demás literatura.

En los resultados, considerando únicamente nuestro periodo de análisis, se obtiene un rendimiento total acumulado del 20.67 %. Sin embargo, es importante mencionar que nuestro algoritmo es propenso a errores en

estimación y, en este sentido, es necesario que estos sesgos sean considerados. Por ejemplo, existen activos que presentan pérdidas importantes en la cartera (más del 60 %), lo cual parece obedecer a la presencia de cambios estructurales en las series que coincide con el punto en el cual nuestras señales requieren un cambio.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: Discutimos el concepto del *pairs trading* en la siguiente sección; hablamos sobre la teoría del arbitraje y cómo soporta el modelo de cointegración; sustentamos de manera teórica los costos de operación; damos ejemplos de la cointegración en la estructuración de los portafolios dentro de la literatura; definimos el concepto de cointegración y lo contextualizaremos; presentamos la estrategia; discutimos los datos utilizados; y por último vemos los resultados del estudio en México.

Pairs trading

Un portafolio popular en fondos de cobertura es el compuesto por pares de activos, llamado *pairs trading*. En él se eligen dos activos con base a una prospección de rentabilidad, uno de ellos se vende y el otro se compra. Una forma clásica del *pairs trading* es la estrategia neutra al mercado, que es definida así debido a que los retornos de los portafolios resultantes no están correlacionados con los retornos del mercado en general. Estas estrategias son comúnmente utilizadas por fondos de cobertura, dado que el tenedor de este portafolio estaría protegido ante movimientos del mercado en conjunto. En otras palabras, este portafolio no estaría expuesto al riesgo de mercado. Una explicación más detallada de las estrategias neutrales al mercado y el concepto del *pairs trading* en general puede ser encontrada en Vidyamurthy (2004).

Pairs trading comúnmente se vuelve neutral al dólar debido a que el capital invertido en cada uno de los activos es el mismo sin tomar en cuenta su volatilidad individual. En la literatura académica, a estas estrategias les llaman inversiones sin efectivo, ya que, teóricamente, el dinero que resulta de vender una acción (operación corta) se invierte simultáneamente en comprar la otra acción (operación larga). En la realidad, sin

embargo, se tienen que considerar las barreras de entrada a las cuentas, los márgenes impuestos por el bróker con quien se opere, y volumen financiero que se quiere asumir. Una estrategia neutral al mercado es tomada preferiblemente cuando se ha encontrado una oportunidad de arbitraje estadístico. Este tipo de arbitraje abre posiciones de compra y venta de diferentes activos bajo el supuesto de que están subvaluados para el caso de la compra, y sobrevaluados para el caso de la venta. Existe una restricción, sin embargo, y es que los activos analizados deben estar de alguna manera relacionados. Esta relación puede ser por correlación, cointegración, dependencia o fundamental, entre otros.

Los métodos más conocidos para hacer *pairs trading* son por distancia y por cointegración. El método de distancia se basa en el “espacio” que existe entre dos series de tiempo, mientras que el de cointegración busca crear una serie estacionaria con la cual trabajar. Además, existe el método por cópulas, el cual es una generalización para la modelación de distribuciones de probabilidad conjunta.

Existen trabajos que intentan medir el desempeño de los diferentes métodos, Hossein, Rand y Robert (2016), por ejemplo, encuentran que los métodos de distancia y cointegración tienen un rendimiento muy similar. En su muestra de datos, el método de distancia tuvo un rendimiento algo mayor que el de cointegración, aunque cointegración presentó un mejor *sharpe ratio*. Ambos métodos tuvieron un mejor desempeño que el método por cópulas. Otro trabajo que encontró que la cointegración es un buen método para *pairs trading* es el de Nicolas y Komivi (2015). En su documento, los autores analizan los componentes del índice S&P 500 bajo varios métodos de selección, por ejemplo, estacionariedad y cointegración. En sus resultados, los autores muestran que cointegración es usualmente eludido debido a que es más demandante en recursos computacionales, sin embargo, los autores demuestran que esta técnica arroja retornos más robustos, estables y elevados.

Teoría del Arbitraje

La teoría del arbitraje parte de la declaración de que si dos activos están compuestos por los mismos riesgos, entonces ambos activos deben tener el mismo retorno. Con esto podemos derivar que el retorno y, por tanto, el precio del activo, puede ser modelado como una combinación lineal de varios factores de riesgo, es decir, el retorno puede ser modelado utilizando el vector de cointegración entre los activos.¹

El modelo de análisis aquí presentado, entonces, toma esta teoría como base y especifica que cointegración entre dos activos expresa, indirectamente, a través de los precios, la combinación lineal de los factores de riesgo de esos activos con un escalar (nuestro coeficiente de cointegración). Por lo tanto, si dos activos se mueven juntos a lo largo del tiempo, se puede inferir que responden a los mismos factores de riesgo externo y deberán presentar características de regresión a la media, y esas características pueden ser utilizadas como señales de compra-venta.

Una preocupación sobre este modelo (y modelos de *trading* algorítmicos en general) es qué tanto se sostienen frente a un ambiente de *trading* real y práctico. Los corredores de bolsa (o brókers) tienen costos y comisiones que modifican los retornos finales de nuestra versión. El esquema de comisiones más común en México es el cobro de un porcentaje del capital colocado por transacción. Este porcentaje ronda desde 0.10 % hasta 0.40 % de cobro, dependiendo del monto operado. Partiendo del supuesto de que un algoritmo de *trading* puede montar electrónicamente bastantes operaciones en un corto periodo de tiempo, se crea la duda sobre si los retornos que el algoritmo puede generar superan las comisiones que el mismo portafolio genere.

Un estudio realizado por Do y Faff (2012) examina el impacto de los costos del *trading* sobre la rentabilidad de *pairs trading* en el mercado de capitales de Estados Unidos para el periodo que comprende entre 1963 y 2009. En su documento, el autor, después de controlar por las comisiones, el impacto del mercado y las tarifas por vender en corto, encuentra

1 Ver Chen e Ingersoll (1983) para una discusión más extensa.

que la estrategia de *pairs trading* sigue siendo rentable, aunque a un nivel mucho más modesto. Por supuesto, esta no es una estrategia que busque rendimientos elevados, sino que, por el contrario, el objetivo es cubrirse al riesgo mientras se genera un aceptable rendimiento. Otro estudio práctico es el de Perlin (2009), hecho sobre el mercado en Brasil, donde se encuentra que aun controlando por costos de transacción la estrategia de *pairs trading* tiene buen rendimiento. Es importante resaltar que, en este artículo, el autor comparó su estrategia utilizando series a diferentes intervalos de tiempo y encontró que la serie diaria fue la más exitosa.

Cointegración en la selección de portafolios

Cointegración ha sido extensamente utilizada en el ámbito financiero desde su introducción en 1981 por Granger (1981). En sus inicios, sin embargo, debido a su complejidad práctica y computacional, la técnica no fue totalmente adoptada. En la actualidad, por el contrario, debido a los grandes avances tecnológicos y el poder computacional disponible, se abre la puerta a estos modelos no solo para ser utilizados, sino que, además, para ser generalizados incorporando análisis continuo en el *trading*.

Considerando las aplicaciones prácticas de cointegración en el mercado de capitales mexicano, la literatura no es abundante, aun cuando la cointegración es ahora parte fundamental del análisis de series de tiempo multivariada.

Kutty (2010), por ejemplo, notando la importancia de conocer las relaciones que tienen los activos y las variables macroeconómicas para los creadores de las políticas públicas, encuentra evidencia de cointegración entre tipos de cambio y precios de activos en México. En palabras del autor, existen dos teorías que combinan tipos de cambio y precios de activos: el enfoque tradicional y el enfoque de ajustes de portafolio. El primero argumenta que una depreciación de la moneda resultará en más exportaciones y por tanto las empresas se beneficiarán, resultando en un aumento del precio de sus activos en el corto plazo, mientras que el segundo indica que los ajustes del portafolio (salidas o entradas de capitales extranjeros) ocurren siempre que exista un cambio en el precio

de los activos. Kutty (2010) encontró que existe cierta relación de corto plazo entre los tipos de cambio y los precios de los activos; el test de causalidad de Granger reveló que los precios de los activos lideran los tipos de cambio en el corto plazo y que no existe relación de largo plazo entre las dos variables.

Chung y Tai (1999), de la misma manera, realizaron un estudio en el que buscaban encontrar relaciones de cointegración con el mercado de capitales en Corea. Querían saber si las actividades económicas podían explicar el comportamiento de los activos en el país asiático. Los autores encontraron que sí existe un vector de cointegración entre los tipos de cambio, balanza comercial, nivel de producción y oferta monetaria. Además, aunque el índice accionario y el de producción se afectan mutuamente, el índice accionario no es una medida que lidere a las variables económicas.

Chung y Tai (1999) también encuentran que los movimientos de los precios de los activos son percibidos de manera diferente en el Korean Stock Exchange (KSE), comparado con aquellos de los inversores percibidos en Estados Unidos y en Japón. En este sentido, se concluye que el mercado coreano es más sensible a actividades de *trading* internacionales que variables como la inflación o la tasa de interés.

Por lo tanto, tomando como precaución las conclusiones de Chung y Tai (1999), en este documento se realizan pruebas de cointegración fuera de nuestro universo de activos, con activos basados en variables macroeconómicas. De esta manera, arrojaremos luz a la relación que el mercado de capitales tiene con el mercado de deuda.

Cointegración

Se dice que dos o más series de tiempo escritas como un vector $(x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})'$ son cointegradas de orden d , b ($x_t \sim CI(d, b)$) si las series de tiempo son integradas de orden d , y existe una combinación lineal dada por un vector de coeficientes $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)'$ de ellas tal que necesite un orden de diferenciación b para ser estacionario, tal que $b \leq d$.

$$e_t = \beta x_t, \tag{1}$$

donde e_t es ruido blanco.

En general, el *pairs trading* involucra observar dos activos. Se compra la acción que está subvalorada, y se vende en corto la acción sobrevalorada. Una de las maneras de relacionar los dos activos es por el concepto fundamental de *spread*. El *spread* es una medida de distancia entre los precios de los activos. Al utilizar un marco de trabajo en cointegración nos aseguramos de manejar un *spread* estacionario por construcción y restricciones del modelo de cointegración.

El vector e_t en (1) representa el *spread* entre nuestros precios de activos y es la serie con la que se desarrollan nuestras señales de operación. La característica más importante de esta serie de tiempo es que es estacionaria. Esto implica que la manera en que los dos activos se juntan o se separan se mantendrá constante en el tiempo.

Por lo tanto, podemos utilizar el vector de cointegración para estimar las desviaciones de la media que los precios de los activos sufren en un determinado periodo de tiempo posterior. Cabe aclarar que este medio de modelación no implica en ningún momento ni estimar ni predecir los propios precios de los activos, por el contrario, nosotros modelamos su relación y la nueva serie de tiempo generada, el *spread*.

Estrategia de inversión

Considerando un par de activos, primero se prueba el orden de integración por medio de la metodología de Engle y Granger. A continuación, se explica el proceso para simular las señales de *trading* y su uso en la compra y venta de los pares. Por último, se deriva el rendimiento esperado de la cartera. En el presente estudio se utiliza la ventana de un año con datos diarios para la estimación (grupo de entrenamiento), y se aplicará en un set de seis meses posteriores (grupo de control). A continuación se describen las pruebas realizadas sobre el grupo de entrenamiento.

Para saber el orden de integración de las series utilizamos la prueba de Dickey-Fueller de acuerdo a la siguiente regresión:

$$\Delta S_t = \alpha S_{t-1} + u_t, \quad (2)$$

donde S_t es la variable de interés y u_t es el termino de error. La hipótesis nula de $\alpha = 0$ indica que exista una raíz unitaria (por lo tanto, podemos decir que la serie es integrada de orden d , o bien $I(d)$ y el estadístico resultante sigue la distribución Dickey-Fueller. Aun si existiera alguna muestra en la que resulte una acción que necesite más de una diferenciación para ser estacionaria, podemos remitirnos a la teoría estándar en la literatura de la suposición de que los activos siguen una caminata aleatoria y, por lo tanto, presentan una raíz unitaria.

Con nuestras series integradas de orden 1, hacemos una combinatoria sin repetición de ellas. Es decir, el vector (x, y) y el vector (y, x) son considerados iguales. El número de combinaciones estará dado por:

$$N \binom{n}{2} = \frac{n!}{2!(n-2)!},$$

donde N es el número de pares resultante, y n el número de activos.

Para respaldar la combinación lineal de nuestro modelo de cointegración utilizado vamos a plantear, ecuación por ecuación, los pares de activos con los que trabajaremos de acuerdo a la siguiente relación

$$\log(S_{1t}) = \eta_{1t} + \varepsilon_{1t}, \quad (3)$$

$$\log(S_{2t}) = \eta_{2t} + \varepsilon_{2t}, \quad (4)$$

donde S_{it} representa el precio de la acción, η_{it} una caminata aleatoria y ε_{it} un residual estacionario.

La relación lineal, entonces, está dada por

$$\log(S_{1t}) - \gamma \log(S_{2t}) = (\eta_{1t} - \gamma \eta_{2t}) + (\varepsilon_{1t} - \gamma \varepsilon_{2t}) \quad (5)$$

Para probar que (5) indica cointegración, es necesario que la parte derecha de la ecuación sea estacionaria y esto solo se logra si $\eta_{1t} = \gamma \eta_{2t}$, es decir, que los elementos no estacionarios multiplicados por un escalar sean

idénticos. Considerando esto, se puede representar la combinación lineal de los activos de la siguiente manera:

$$\log(S_{1t}) - \gamma \log(S_{2t}) = \mu + e_t, \quad (6)$$

lo cual es simplemente una regresión de cointegración con un coeficiente de cointegración γ y un intercepto μ . μ , en el contexto de *pairs trading*, representará el premio que se gana al mantener una posición de compra-venta en el par de activos seleccionado.

El siguiente paso será utilizar la metodología de Engle y Granger (1987) para determinar qué pares de activos cumplen con la representación que hemos propuesto. Se utiliza de manera programática la estimación de un modelo de regresión lineal sobre los N pares de activos como el siguiente

$$\log(S_{1t}) = \beta_0 + \beta_1 \log(S_{2t}) + e_t \quad (7)$$

En (7), si encontramos que e_t es un proceso estacionario, se probará la relación de cointegración en ese par de activos. En este artículo no modelaremos relaciones de cointegración inversas, por lo que nos desharemos también de las relaciones que presenten un coeficiente de cointegración negativo.

De las regresiones con series cointegradas, guardaremos los coeficientes β_0 , y β_1 pues son súper-consistentes y estiman tanto el coeficiente de cointegración como el premio provenientes de nuestra ecuación (6). También se deben guardar los residuales, y su desviación estándar.

Para cada serie del set de datos de control, es decir, los próximos seis meses, encontraremos el *spread* e_t obtenido del reordenamiento de la ecuación (6):

$$e_t = \log(S_{1t}) - \gamma \log(S_{2t}) - \mu.$$

Estos residuales estimados son estandarizados de la siguiente manera:

$$es_t = \frac{e_t}{\sigma} \quad (8)$$

Al venir de una regresión lineal con supuesto de normalidad de los errores, estar estandarizados, y venir de una muestra suficientemente grande, los errores estandarizados se aproximan a una distribución normal estándar de Valores Z [$es_t \sim N(0,1)$]. Siguiendo a Caldeira y Moura (2013), con una variación, la señal se genera de la siguiente manera:

$$\text{Si } es_t > 2 \quad signal = 1, \quad (9)$$

$$\text{Si } es_t < -2 \quad signal = -1, \quad (10)$$

$$\text{Si } -2 < es_t < 2 \quad signal = 0 \quad (11)$$

Por lo tanto, tendremos un vector construido de -1,0,1. El algoritmo de *trading* procede de la siguiente manera:

- Se busca en el vector la primera ocurrencia de un valor diferente de cero.
- Se abre la operación, se ven los elementos posteriores y se cierra la operación si se encuentra un 0.
- La posición se cierra y se cambia por una contraria si después de abrir una posición se encuentra un número con signo contrario.

En términos sencillos, se abre una posición Corta-Larga (corta para la primera acción, larga para la segunda) si el error estándar se encuentra 2 desviaciones por encima de su media, una posición Larga-Corta si se encuentra 2 desviaciones por debajo, y se mantiene la posición mientras el error no se acerque a su media con menos de 2 desviaciones estándar.

El número de desviaciones estándar sobre el cual activar nuestra señal puede ser aumentado o reducido al nivel de aversión al riesgo del inversor. Un número de desviaciones estándar más bajo causará que se activen un mayor número de posiciones, y, por lo tanto, el riesgo de caer en una posición mala aumenta. Los rendimientos son calculados de manera programática más sencilla con una ecuación base. El primer paréntesis de la ecuación nos describe un rendimiento logarítmico resultante de vender la acción 1, y el segundo paréntesis el rendimiento logarítmico de comprar la acción 2. La ecuación que lo describe se encuentra a continuación:

$$B = (\log(S_{1t}) - \log(S_{1t+1})) - (\log(S_{2t+1}) - \log(S_{2t})) \quad (12)$$

Para calcular los rendimientos es necesario reducir el vector de las señales a uno en el que solo existan las señales donde existe un cambio con el procedimiento de búsqueda de ocurrencias. Se multiplica la ecuación base por la respectiva señal del vector reducido para calcular el rendimiento de periodo. Al multiplicarlo por la señal, nos aseguramos de que las operaciones de la señal I se mantengan, y las operaciones correspondientes a la señal $-I$ se inviertan.

$$R_{VC} = B * (1) \quad (13)$$

$$R_{CV} = B * (-1) \quad (14)$$

Datos

Para este estudio utilizamos datos diarios de los precios ajustados de los activos que componen el Índice de Precios y Cotizaciones para el periodo del 01 de enero de 2016 hasta el 01 de noviembre de 2019. Los activos considerados del índice son los 35 más líquidos del mercado de capitales mexicano y nos sirven para modelar los rendimientos generales de la iniciativa privada en el país. Para el análisis, es importante resaltar que dos subconjuntos de datos son utilizados. El primero, denominado grupo de entrenamiento, considera únicamente los datos de los precios de los activos para el primer año de análisis (01 de enero de 2016 - 01 de enero de 2017), y el segundo, denominado grupo de control, comprende los seis meses posteriores al grupo de entrenamiento (01 de enero de 2017 - 01 de junio de 2017). Como se mencionó anteriormente, el grupo de entrenamiento es utilizado para realizar tanto las estimaciones como las pruebas econométricas. El grupo de control, considerando esos resultados, simula las señales y propone movimientos de compra-venta.

El precio ajustado de una acción es una representación más fiel de su valor verdadero. A diferencia del precio de cierre, el precio ajustado de una acción toma en cuenta las correcciones corporativas que afecta el precio de esa acción aun después del cierre del mercado. Por lo tanto, el

uso del precio ajustado de los activos para representar los cambios históricos de una acción y hacer análisis financiero, es más adecuado (Hillion y Suominen, 2004). En el resto de este trabajo, cuando se hable de precios, se estará refiriendo al precio ajustado.

La alta liquidez del universo de activos elegido nos aumenta la probabilidad de poder abrir y cerrar las posiciones que tengamos en los activos en el momento más inmediato posible. Esto nos permite un mayor aprovechamiento de las oportunidades de arbitraje estadístico. Para una mayor eficiencia en el algoritmo de *pairs trading*, el número de activos a utilizar es reducido a 29 y se eliminaron aquellos activos con información no disponible dentro de la misma fuente de datos o con baja volatilidad en ciertos periodos de tiempo.

Cuando las series de precios mostraban días por separado de información faltante se extrapoló el dato con el precio inmediato anterior. Cabe recordar que para el análisis, de acuerdo a lo expresado en la sección 5, los datos se presentan en logaritmos. La descripción y la estadística descriptiva se presentan en la Tabla 1 y en la figura 1 se presentan las series de tiempo de algunos de los activos.

Tabla 1

Descripción y estadística descriptiva de los precios de los activos IPC,
México, 01 de enero de 2016 - 22 de noviembre de 2019

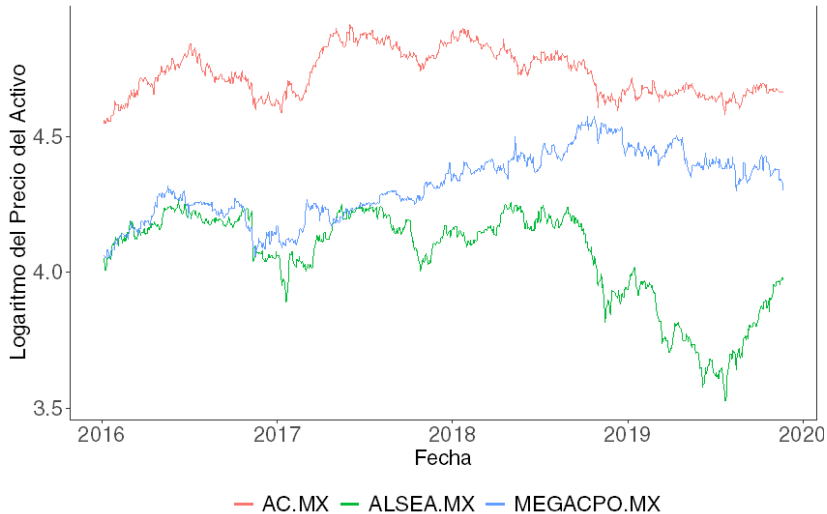
<i>Nombre</i>	<i>Acrónimo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Primer Quintil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>Tercer Quintil</i>	<i>Máximo</i>
Arca Continental	ac.mx	4.547	4.658	4.727	4.733	4.801	4.912
Grupo Alfa	alfaa.mx	2.641	3.054	3.179	3.175	3.299	3.605
Alpek	alpeka.mx	2.86	3.104	3.229	3.22	3.335	3.553
Alsea	alsea.mx	3.526	3.962	4.133	4.061	4.191	4.265
América Móvil	amxl.mx	2.281	2.492	2.627	2.6	2.73	2.852
Grupo Aeroportuario del Sureste	asurb.mx	5.326	5.636	5.721	5.709	5.797	5.947
Grupo Bimbo	bimboa.mx	3.491	3.659	3.759	3.761	3.833	4.067
Bolsa Mexicana de Valores	bolsaa.mx	2.89	3.294	3.41	3.401	3.543	3.775
Cemex	cemexcpo.mx	1.726	2.241	2.535	2.477	2.73	2.939
Grupo Elektra	elektra.mx	5.472	5.768	6.54	6.381	6.812	7.289
Grupo Aeroportuario del Pacífico	gapb.mx	4.705	4.995	5.077	5.062	5.144	5.328
Grupo Carso	gcarsoal.mx	3.943	4.162	4.263	4.244	4.31	4.483
Grupo Cementos de Chihuahua	gcc.mx	3.706	4.18	4.533	4.422	4.652	4.856
Gentera	gentera.mx	2.477	2.748	2.938	3.022	3.327	3.517
Grupo Financiero Inbursa	gfinburo.mx	3.061	3.313	3.373	3.361	3.418	3.522
Grupo Financiero Banorte	gfnorteo.mx	4.271	4.502	4.604	4.596	4.678	4.862
Grupo México	gmexicob.mx	3.377	3.74	3.891	3.844	3.963	4.119
Gruma	grumab.mx	5.107	5.363	5.438	5.417	5.496	5.613

Nombre	Acrónimo	Mínimo	Primer Quintil	Mediana	Media	Tercer Quintil	Máximo
Infraestructura Energética Nova	ienova.mx	4.202	4.324	4.425	4.421	4.508	4.669
Kimberly-Clark de México	kimbera.mx	3.307	3.439	3.484	3.502	3.563	3.727
Genomma Lab Internacional	labb.mx	2.349	2.748	2.943	2.893	3.073	3.224
Liverpool	livepolc.l.mx	4.518	4.792	4.908	4.937	5.052	5.345
Megacable Holdings	megacpo.mx	4.05	4.236	4.325	4.32	4.414	4.576
Grupo Aeroportuario del Centro	omab.mx	4.088	4.402	4.482	4.511	4.632	4.898
Industrias Peñoles	pe.oles.mx	4.949	5.487	5.799	5.745	5.999	6.238
Promotora y Operadora de Infraestructura	pinfra.mx	5.026	5.184	5.224	5.229	5.273	5.408
Regional	ra.mx	4.32	4.553	4.609	4.602	4.67	4.79
Grupo Televisa	tlevisacpo.mx	3.41	4.005	4.321	4.229	4.517	4.647
Wal-mart de México	walmex.mx	3.494	3.693	3.764	3.804	3.942	4.073
Regional	ra.mx	4.32	4.553	4.609	4.602	4.67	4.79
Grupo Televisa	tlevisacpo.mx	3.41	4.005	4.321	4.229	4.517	4.647
Walmart de México	walmex.mx	3.494	3.693	3.764	3.804	3.942	4.073

Fuente: Yahoo! Finance.

Figura 1

Logaritmo del precio de algunos activos analizados
México, 01 de enero de 2016 - 22 de noviembre de 2019



Fuente: Cálculos propios con datos de Yahoo! Finance.

Resultados del estudio para México

Las pruebas de raíz unitaria, el número de rezagos óptimos, así como el resultado del test, se presentan en la Tabla 2. Como se puede observar, todos los activos considerados presentan raíz unitaria, por lo tanto, podemos concluir, considerando el número óptimo de rezagos, que los activos, en general, son integradas de orden uno (I(1)). De la misma manera, debido a que el orden de integración es el mismo para todas, las pruebas de cointegración son pertinentes.

Tabla 2

Pruebas de raíz unitaria para las series de precios de los activos
México, IPC grupo de datos de entrenamiento

Acrónimo	DF-GLS		Acrónimo	DF-GLS	
	Rezago	Estadístico		Rezago	Estadístico
AC.MX	1	-2.058	GFNORTEO.MX	1	-2.11
ALFAA.MX	1	-1.405	GMEXICOB.MX	1	-1.047
ALPEKA.MX	1	-1.746	GRUMAB.MX	1	-3.223
ALSEA.MX	1	-2.235	IENOVA.MX	1	-0.449
AMXL.MX	1	-1.878	KIMBERA.MX	1	-2.358
ASURB.MX	1	-1.926	LABB.MX	1	-1.083
BIMBOA.MX	1	-2.033	LIVEPOLC.L.MX	1	-0.637
BOLSAA.MX	1	-2.074	MEGACPO.MX	1	-2.077
CEMEXCPO.MX	1	-1.27	OMAB.MX	1	-1.656
ELEKTRA.MX	1	-1.441	PE.OLES.MX	1	-1.801
GAPB.MX	1	-1.685	PINFRA.MX	1	-0.836
GCARSOA.L.MX	1	-3	RA.MX	1	-1.607
GCC.MX	1	0.759	TLEVISACPO.MX	1	-2.073
GENTERA.MX	1	-2.788	WALMEX.MX	1	-1.71
GCC.MX	1	0.759	TLEVISACPO.MX	1	-2.073
GENTERA.MX	1	-2.788	WALMEX.MX	1	-1.71

Fuente: Cálculos propios con datos de Yahoo! Finance.

Nota: Se asume que las series son estacionarias alrededor de la media. Valores críticos 1 % -3.4, 5 % -2.8. Para el número de rezagos se utiliza el AIC modificado (MIAC).

En la Tabla 3 se muestra el resumen de las regresiones que resultaron exitosas en el test de Engle y Granger para cointegración, junto con el resultado de la prueba de Dickey-Fuller en los residuales de la regresión. Cabe mencionar que 406 posibilidades son analizadas, sin embargo, la mayoría, con excepción de la presentadas en la Tabla, rechaza la prueba de cointegración.

Tabla 3

Prueba Engle y Granger para cointegración
Precios de algunos activos, México, IPC grupo
de datos de entrenamiento

Acción 1	Acción 2	DF-GLS estadístico	H0 $r \leq 0,1$	Significancia
ac.mx	ALSEA.MX	-4.171191	1	**
ac.mx	MEGACPO.MX	-4.333127	1	**
alsea.mx	BIMBOA.MX	-3.902206	1	**
alsea.mx	MEGACPO.MX	-4.220887	1	**
asurb.mx	LABB.MX	-3.869322	1	**
cemexcpo.mx	RA.MX	-4.492742	1	**
gcarsoal.mx	GCC.MX	-3.809818	1	**
gcarsoal.mx	GMEXICOB.MX	-3.82057	1	**
gcarsoal.mx	RA.MX	-4.329352	1	**
genera.mx	GFNORTEO.MX	-5.169599	1	**
genera.mx	OMAB.MX	-4.382683	1	**
gfnorteo.mx	PE.OLES.MX	-3.988606	1	**
gfnorteo.mx	RA.MX	-4.252701	1	**
kimbera.mx	TLEVISACPO.MX	-4.363872	1	**
tlevisacpo.mx	WALMEX.MX	-3.886202	1	**

Fuente: Cálculos propios con datos de Yahoo! Finance.

Nota: Se asume que las series son estacionarias alrededor de la media. Valores críticos 1 % -3.4, 5 % -2.8. Para el número de rezagos se utiliza el AIC modificado (MIAC).

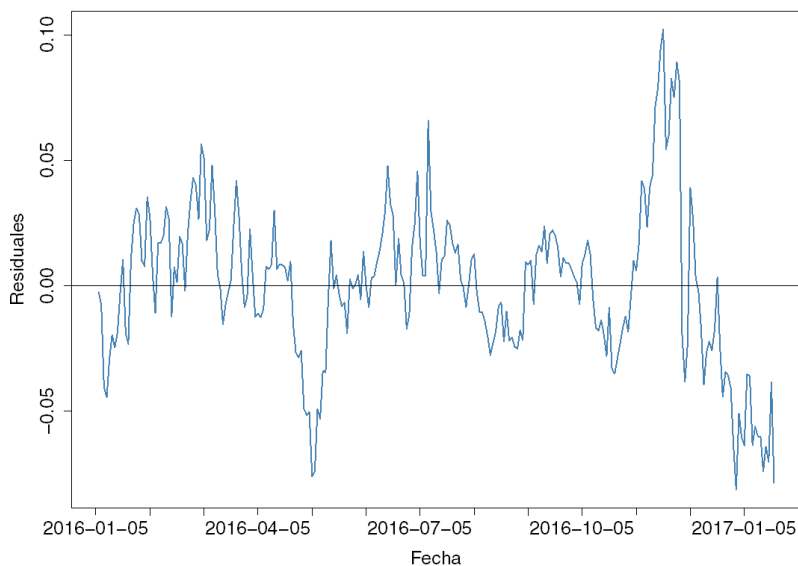
****** Significativo a 95 %.

Con el fin de mostrar claramente el proceso de la creación de señales y con el fin de ejemplificar sencillamente los resultados, se ilustra en el documento únicamente el caso particular de ALSEA.MX y MEGACPO.MX. Claramente, en los resultados presentados a continuación se replica el análisis para todos los pares de activos mostrados en la Tabla 3.

Como se puede observar en la Tabla 3, todos los pares rechazan la hipótesis nula de una raíz unitaria en los errores, por lo tanto, la ecuación presenta errores estacionarios y una relación de cointegración. Con el fin de ilustrar este resultado, la figura 2 muestra los residuales de dicha regresión.

Figura 2

Residuales de la regresión ALSEA.MX - MEGACPO.MX
México, IPC grupo de datos de entrenamiento



Fuente: Cálculos propios con datos de Yahoo! Finance.

Los errores estandarizados de nuestra regresión son calculados por la ecuación (8) con la desviación estándar obtenida de la regresión del paso anterior, por lo tanto, se asume que estos errores estandarizados continúan siendo estacionarios.

Como lo menciona Krauss (2017), es importante resaltar que, debido al proceso de estimación, la normalidad de estos errores estandarizados se ve afectada, entonces, explica el autor, el proceso de *trading* puede resultar o beneficiado o perjudicado. Por un lado, puede ser beneficioso debido a que es posible mantener posiciones por mayor tiempo y evitar con ello ciertas comisiones, manteniendo así rendimientos en promedio elevados. Por el otro lado, esta no normalidad en los errores indica que el modelo pierde bondad de ajuste y, por lo tanto, podría causar caídas en los rendimientos. El autor continúa y explica que, en este último caso, la recomendación es utilizar un método de estimación por rondas donde

se itere la ventana de estimación, de tal manera que se asegure que la información utilizada siempre sea relevante.

Los resultados de la regresión de cointegración son presentados en la Tabla 4. Como se puede observar, tanto la constante de la regresión como el coeficiente de cointegración son estadísticamente significativos al 99 %.

Tabla 4
Regresión cointegración
Precios de algunos activos, México, IPC grupo de datos de
entrenamiento

<i>Acción 1</i>	<i>Acción 2</i>	<i>b₀</i>	<i>Significancia</i>	<i>Coeficiente de Cointegración</i>	<i>Significancia</i>
ac.mx	ALSEA.MX	0.7896581	***	0.9387166	***
ac.mx	MEGACPO.MX	0.9931619	***	0.8821347	***
alsea.mx	BIMBOA.MX	1.2357492	***	0.7458807	***
alsea.mx	MEGACPO.MX	0.9260366	***	0.7707889	***
asurb.mx	LABB.MX	4.5732873	***	0.3403979	***
cemexcpo.mx	RA.MX	-7.3876275	***	2.165336	***
gcarsoal.mx	GCC.MX	3.4029418	***	0.2300803	***
gcarsoal.mx	GMEXICOB.MX	3.4857583	***	0.2234396	***
gcarsoal.mx	RA.MX	2.5770217	***	0.3783399	***
genera.mx	GFNORTEO.MX	0.7109699	***	0.5998489	***
genera.mx	OMAB.MX	2.0096039	***	0.3136346	***
gfnorteo.mx	PE.OLES.MX	3.5120212	***	0.1650915	***
gfnorteo.mx	RA.MX	1.6203276	***	0.6215097	***
kimbera.mx	TLEVISACPO.MX	-0.8819675	***	0.9796627	***
tlevisacpo.mx	WALMEX.MX	1.9850035	***	0.6929386	***

Fuente: Cálculos propios con datos de Yahoo! Finance.

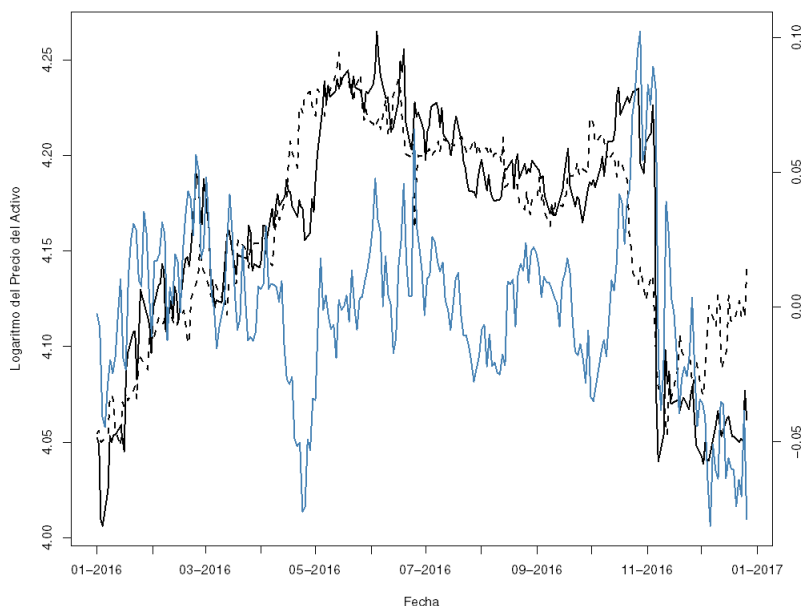
Nota: Se asume que las series son estacionarias alrededor de la media.

*** Significativo a 99 %.

Continuando con el ejercicio ilustrativo, la relación de cointegración para el par ALSEA.MX y MEGACPO.MX, se encuentra representada en la figura 3.

En la imagen, la línea de ALESA.MX está dada por $\log(S_{it})$ mientras que la línea de MEGACPO.MX se caracteriza por $\gamma \log(S_{it})$ con γ como el coeficiente de cointegración.

Figura 3
Cointegración ALESA.MX - MEGACPO.MX
México, IPC grupo de datos de entrenamiento



Fuente: Cálculos propios con datos de Yahoo! Finance.

El espacio sombreado entre las dos líneas representa el *spread* entre ellas y está modelado por el lado derecho de la ecuación 6. Como se puede observar, el *spread* es calculado como la separación que existe entre ambas series,² de tal manera que cuando la brecha entre MEGACPO.MX y ALESA.MX es amplia y positiva, el residual tiene una caída por debajo del cero, y cuando esta brecha es amplia pero negativa, el residual se dispara por encima del cero.

2 Con el fin de ilustrar el resultado claramente, se modela el *spread* utilizando el eje secundario derecho de la imagen.

Claramente, este residual analizado es estacionario, por lo tanto, se caracteriza por un comportamiento de regresión a la media. En términos de *trading*, esto quiere decir que el *spread* que existe entre los activos exhibe un comportamiento estacionario y converge a un valor constante. Si los activos divergen, podemos esperar una convergencia futura y una oportunidad de rendimiento proveniente de la compra de la acción subvaluada y la venta de la sobrevalorada.

Para crear la señal, se utiliza el algoritmo condicional descrito en la sección 5. Es importante que este vector esté propiamente indexado y fechado para que pueda ser utilizado después. Los primeros elementos del vector correspondiente para la relación ALSEA.MX y MEGACPO.MX se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Cambio en señales por mes para la relación ALSEA.MX y MEGACPO.MX
México, IPC grupo de datos de control

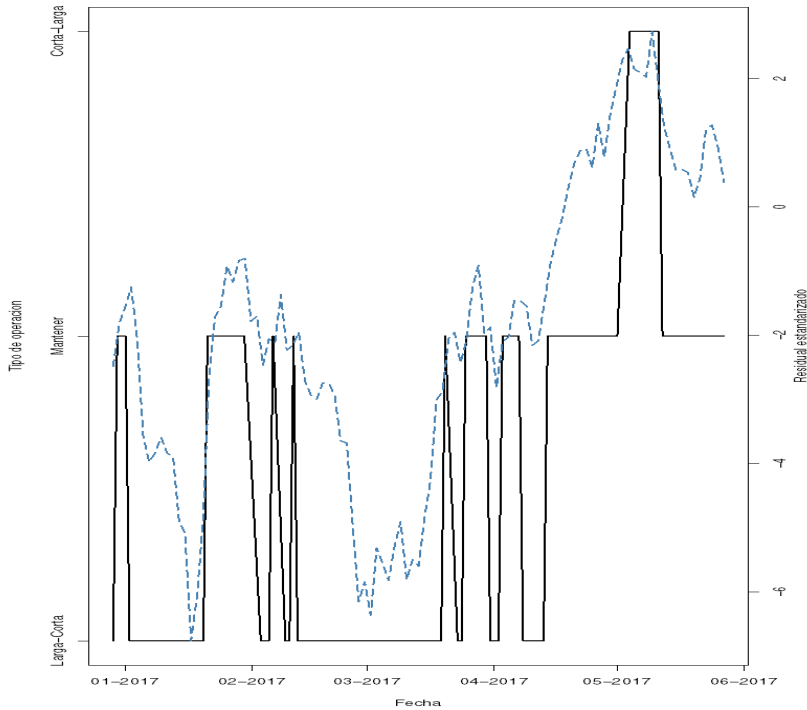
<i>Fecha (2017)</i>	<i>01-02</i>	<i>01-03</i>	<i>01-04</i>	<i>01-05</i>	<i>01-06</i>	<i>01-09</i>	<i>01-10</i>
Señal	-1	0	0	0	-1	-1	-1

Fuente: Cálculos propios con datos de Yahoo! Finance.

En la figura 4 podemos apreciar de manera visual el comportamiento de la señal de *trading*. Vemos que de inmediato se abre y cierra una posición Larga-Corta el 01 de enero de 2017, ya que el vector comienza con un -1, y al siguiente periodo cambia a 0. Después, abre otra posición igual y la cierra hasta el 25 de enero. La señal de *trading* se puede interpretar como una exageración de la línea de los residuales estandarizados.

Es importante notar fechas como las de inicios y finales de marzo, donde el residual rebasa las dos desviaciones estándar y se activa la señal de compra y venta, generando una posición que se mantiene por poco tiempo. Un caso particular de nuestra estrategia de inversión se presenta cuando el residual en el tiempo t pasa de 1.99 a 2.1 desviaciones estándar y en $t+1$ vuelve a 1.99. En estas ocurrencias en particular el algoritmo de cualquier manera abre un movimiento y lo cierra enseguida sin generar ningún beneficio, al contrario, castigando el rendimiento de la cartera con comisiones y costos de transacción innecesarios.

Figura 4
Cointegración ALSEA.MX - MEGACPO.MX
México, IPC grupo de datos de entrenamiento



Fuente: Cálculos propios con datos de Yahoo! Finance.

Los rendimientos obtenidos para cada par de activos están resumidos en la Tabla 6. Como se puede observar, para nuestro análisis y considerando únicamente las fechas mencionadas, se obtiene un rendimiento total acumulado del 20.67 %. Sin embargo, es importante mencionar que nuestro algoritmo es, como todo, propenso a errores en estimación y estos tienen que ser considerados. Por ejemplo, si consideramos el caso del par AC.MX ALSEA.MX, observamos una disminución considerable en el rendimiento de nuestra cartera (más del 60 %), lo cual parece que obedece a la presencia de un cambio estructural en las series en punto cercano al indicativo del cambio en la señal, en este sentido, si bien no se pretende probar que este fue el caso, se deja abierto y expuesto este problema para mejorar en

estudios subsecuentes, y también como precaución a quien decida incorporar portafolios como el aquí presentado a su cartera de inversiones.

Tabla 6

Rendimientos obtenidos por par de activos
México, IPC grupo de datos de control

<i>Acción 1</i>	<i>Acción 2</i>	<i>Rendimiento</i>
ac.mx	ALSEA.MX	-0.6145683
ac.mx	MEGACPO.MX	0.04205347
alsea.mx	BIMBOA.MX	0.18874529
alsea.mx	MEGACPO.MX	0.21496245
asurb.mx	LABB.MX	-0.0366973
cemexcpo.mx	RA.MX	0.03734239
gcarsoal.mx	GCC.MX	0.02903343
gcarsoal.mx	GMEXICOB.MX	0.18502197
gcarsoal.mx	RA.MX	0.11684742
genera.mx	GFNORTEO.MX	0
genera.mx	OMAB.MX	0.20293945
gfnorteo.mx	PE.OLES.MX	-0.0272258
gfnorteo.mx	RA.MX	-0.1584068
kimbera.mx	TLEVISACPO.MX	0.11750579
tlevisacpo.mx	WALMEX.MX	-0.0908164

Fuente: Cálculos propios con datos de Yahoo! Finance.

Conclusiones

La aplicación de métodos econométricos al *trading* algorítmico es armoniosa. En este documento se utiliza cointegración aplicada en el contexto de *pairs trading* y la teoría del arbitraje para México. Los activos considerados son de la Bolsa Mexicana de Valores, particularmente los 30 más líquidos del Índice Nacional de Precios y Cotizaciones (IPC) para el periodo 01 de enero de 2016 al 01 de junio de 2017.

En el análisis se considera un enfoque tanto práctico como programático que avanza en la literatura existente sobre el tema, pues presenta,

entre otras cosas, diferentes opciones de ajustes tanto al riesgo como al mercado en el *pairs trading*. El ajuste al riesgo, por ejemplo, es controlado por el número de desviaciones estándar consideradas en el modelo, de tal manera que el número de movimientos (señales) por periodo es fácilmente manipulable. El ajuste al mercado, de la misma manera, es controlado incluyendo tanto variaciones en los periodos analizados, como cualquier activo adicional a los estipulados en el IPC.

Como se puede observar, la metodología propuesta es agnóstica a la industria, es decir, puede ser aplicada a cualquier tipo de activos y consiste en encontrar pares de activos con tendencias comunes de una manera fundamental, es decir, la metodología une pares de activos que pertenecen o al mismo sector o al sector competidor.

En los resultados, considerando únicamente nuestro periodo de análisis, se obtiene un rendimiento total acumulado del 20.67 %. Sin embargo, es importante mencionar que nuestro algoritmo es propenso a errores en estimación y, en este sentido, es necesario que estos sesgos sean considerados. Por ejemplo, si tomamos el caso del par AC.MX ALSEA.MX, observamos en la Tabla 6 una disminución considerable en el rendimiento de nuestra cartera (más del 60 %), lo cual parece que obedece a la presencia de cambios estructurales en las series que coinciden con el punto en el cual nuestras señales requieren un cambio. En este sentido, si bien no se pretende probar que ese es el caso, se deja abierto y expuesto el problema para ser abordado en estudios subsecuentes y, además, como precaución para quien decida incorporar portafolios como el aquí presentado a su cartera de inversiones.

Referencias bibliográficas

- Caldeira, J. y Moura, G. (2013). Selection of a portfolio of pairs based on cointegration: A statistical arbitrage strategy. Disponible en SSRN 2196391.
- Chen, N. e Ingersoll, J. (1983). Exact pricing in linear factor models with finitely many assets: A note. *The Journal of Finance*, 38(3), 985-988.
- Chung, S. y Tai, S. (1999). Cointegration and causality between macroeconomic variables and stock market returns. *Global Finance Journal*, 10(1), 71-81.

- Do, B. y Faff, R. (2012). Are pairs trading profits robust to trading costs? *Journal of Financial Research*, 35(2), 261-287.
- Dockery, E. y Vergari, F. (1997). Testing the random walk hypothesis: evidence for the Budapest stock exchange. *Applied Economics Letters*, 4(10), 627-629.
- Engle, R. F. y Granger, C. W. J. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276.
- Fama, E. (1995). Random walks in stock-market prices. *Financial Analysts Journal*, 21, 55-59.
- Granger, C. (1981). Some properties of time series data and their use in econometric model specification. *Journal of Econometrics*, 16(1), 121-130.
- Hillion, P. y Suominen, M. (2004). The manipulation of closing prices. *Journal of Financial Markets*, 7(4), 351-375.
- Hosseini, R., Rand, K. y Robert F. (2016). The profitability of pairs trading strategies: distance, cointegration and copula methods. *Quantitative Finance*, 16(10), 1541-1558.
- Kausik, C. y Yangru, W. (2003). Random walk versus breaking trend in stock prices: Evidence from emerging markets. *Journal of Banking & Finance*, 27(4), 575-592.
- Krauss, C. (2017). Statistical arbitrage pairs trading strategies: Review and outlook. *Journal of Economic Surveys*, 31(2), 513-545.
- Kutty, G. (2010). The relationship between exchange rates and stock prices: The case of Mexico. *North American Journal of Finance and Banking Research Gopalan Kutty*, 4.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Nicolas, H. y Komivi, A. (2015). Pairs trading and selection methods: Is cointegration superior? *Applied Economics*, 47(6), 599-613.
- Perlin, M. (2009). Evaluation of pairs-trading strategy at the Brazilian financial market. *Journal of Derivatives & Hedge Funds*, 15(2), 122-136.
- Vidyamurthy, G. (2004). *Pairs Trading: quantitative methods and analysis*, Vol. 217. John Wiley & Sons.

CAPÍTULO 9

MODELACIÓN DE BURBUJAS FINANCIERAS EN EL MERCADO DE BITCOIN: UNA APLICACIÓN DEL MODELO DE DIFUSIÓN CON SALTOS PARA 2017 Y 2018

EDGAR ABRAHAM RUIZ SÁNCHEZ
GUILLERMO SIERRA JUÁREZ

Introducción

La criptomoneda Bitcoin ha estado en el centro de intensos debates desde su introducción, uno de ellos está relacionado con la dinámica de su precio, la cual ha estado caracterizada desde un inicio por frecuentes episodios que parecen burbujas, es decir, el precio sube de manera acelerada para posteriormente caer casi instantáneamente.

Ejemplo de esto es diciembre de 2017, durante ese año el precio de Bitcoin se mantuvo creciendo durante varios meses hasta que el 16 de diciembre alcanzó su máximo valor de 19,498 dólares, después de esto perdió 42.6 % de su valor en tan solo un mes. Pero este no es el único caso, durante el periodo de julio de 2016 a diciembre de 2018, en muchas ocasiones el precio diario de Bitcoin experimentó cambios en 24 horas de hasta 20 % (CoinMarketCap, 2019).

De acuerdo con la hipótesis de mercados eficientes (Fama, 1970), los precios reflejan toda la información relevante de un activo, por lo que no puede ocurrir que alguien obtenga provecho de la información para conseguir rendimientos extraordinarios. La hipótesis de mercados eficientes garantiza un mercado transparente, donde todos los participantes tienen la misma información acerca de un activo. En el contexto de Bitcoin, la criptomoneda tiene las siguientes deficiencias: el precio no varía de

manera racional, por lo que puede haber rendimientos extraordinarios y la información es asimétrica, los mineros en la red tienen acceso a información privilegiada.

La definición más aceptada de burbuja financiera es cuando el precio de un activo se aleja de su valor fundamental. Las burbujas están asociadas a un cambio tecnológico o a una innovación en el mercado financiero que provoca que sea difícil valorar un activo (Blanchard y Watson, 1982). Las burbujas financieras son estudiadas desde la teoría de las expectativas racionales. Esta teoría afirma que el valor fundamental de un activo depende del valor presente de los flujos descontados de los dividendos pagados en el futuro. En este sentido, una burbuja se forma cuando el precio de un activo se aleja de su valor fundamental. Bitcoin no tiene un claro flujo de efectivo, por lo que es difícil conocer su valor fundamental. Blanchard y Watson (1982) también sugieren que las burbujas financieras son derivadas de una innovación financiera, Bitcoin es el primer sistema que no requiere intermediarios financieros, por lo que representó una innovación al sistema financiero actual y llamó mucho la atención de distintos sectores.

Aunado a lo anterior, Bitcoin es un mercado aún emergente, no consolidado, la demanda por un fuerte componente especulativo y por el comercio en línea, la competencia entre criptomonedas, las noticias acerca de criptomonedas, las regulaciones y los ciberataques provocan esta dinámica tan singular.

En este sentido, asumiendo que Bitcoin es por naturaleza una burbuja financiera. Un aspecto importante en la toma de decisiones financieras es tener un instrumento que modele esta dinámica tan peculiar del precio del Bitcoin.

En este trabajo la dinámica del precio del Bitcoin es modelada por un proceso estocástico que incluye difusión con saltos, se simulan los precios para el año 2017 y 2018. Además, los resultados se comparan frente a otras dos simulaciones: una para el Bitcoin, pero sin saltos, y la otra para el tipo de cambio peso/dólar sin saltos.

Los datos simulados replican bien la dinámica del precio y los rendimientos anormales, se concluye que la dinámica se captura mejor usando el proceso de difusión con saltos para el Bitcoin, mientras que para activos

tradicionales como el tipo de cambio peso/dólar se simula bien con un proceso que no asume saltos.

Revisión de literatura

A continuación se presenta la evidencia de estudios que han analizado la dinámica del precio del Bitcoin, existen tres clases de estudios: 1. Existencia de burbujas; 2. Estudios sobre la dinámica del precio y verificación de hechos estilizados; y 3. Medición de la volatilidad del precio de Bitcoin. En seguida se describe a detalle:

Existencia de burbujas

Baek & Elbeck (2015) realizan uno de los primeros ejercicios sobre el precio del Bitcoin, usando una regresión tradicional estos autores concluyen que el precio de Bitcoin está únicamente determinado por su demanda y no por fundamentales macroeconómicos. A su vez, estos autores comparan el Bitcoin frente al índice S&P 500 y encuentran que Bitcoin es 20 veces más volátil, sugieren que Bitcoin es solo un mecanismo de especulación.

Hencic & Gouriéroux (2015) analizan la dinámica del tipo de cambio Bitcoin/USD, los autores identifican patrones repetitivos de tendencias hacia arriba seguidas de caídas instantáneas. Mediante un proceso autorregresivo mixto causal y no causal con errores de Cauchy encuentran episodios de tendencia local, los cuales pueden ser modelados como burbujas especulativas. Sugieren que este componente especulativo surge del comercio en línea.

Cheah & Fry (2015) analizan si las grandes subidas y caídas que ha experimentado el precio de Bitcoin pueden modelarse como burbujas especulativas. Encuentran que hay un comportamiento de burbuja súper-exponencial y burbuja explosiva. Además, estiman un valor fundamental de Bitcoin de cero. Ante este comportamiento los autores sugieren que no es probable que Bitcoin sea sostenible en el largo plazo.

Scaillet, Treccani & Trevisan (2017) hacen un análisis de los saltos y sus posibles explicaciones. Usan datos de Mt. Gox e identifican 124 días

incluyendo al menos un salto durante el periodo, en promedio un salto por semana. Usan modelos probit y encuentran qué discontinuidades son anticipadas por actividad de comercio anormal y condiciones de liquidez. El orden de desbalance en el flujo, la proporción de comerciantes agresivos y la dispersión de las llamadas de compra tienen significancia prediciendo saltos. Los saltos tienen menor probabilidad de ocurrir en la medida en que el mercado de Bitcoin se desarrolla y su tamaño aumenta.

Para Donier & Bouchaud (2015), desde el enfoque de la teoría de mercados eficientes, las caídas se deben a cambios en el valor fundamental de un activo. Sugieren que las caídas son condicionadas por la liquidez del mercado.

Cheung, Roca & Su (2015) argumentan que es difícil valorar Bitcoin dado que no tiene un claro flujo de efectivo. No es claro cuál es su naturaleza. No hay un consenso entre si es una moneda o un *commodity*. No tiene un valor intrínseco, su valor depende en su mayoría por el valor especulativo.

Hafner (2018) parte de que es difícil de evaluar el valor intrínseco de una criptomoneda y que esto es un problema para probar burbujas especulativas. En este sentido, las pruebas inevitablemente tienen que hacer fuertes supuestos acerca de la dinámica de los fundamentales no observables. Comenta el autor que es necesario formular modelos que permitan modelar burbujas mientras toman en cuenta las complejas características de la dinámica de las criptomonedas. Analizan once criptomonedas, para ocho de ellas se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria en favor de la alternativa explosiva al 5 % de significancia. Al 1 % solamente muestra un comportamiento explosivo el Bitcoin.

En este apartado la evidencia comienza a emerger rápidamente, teóricamente parten de la interrogante sobre si Bitcoin se aleja de su valor fundamental, mientras que, empíricamente, usan series de tiempo y demuestran presencia de raíces unitarias, comportamientos explosivos, exponenciales y súperexponenciales. Los autores señalan el problema de no haber un claro flujo de efectivo que permita calcular el valor fundamental de las criptomonedas.

Dinámica del precio de Bitcoin y verificación de hechos estilizados

Chu, Nadarajah & Chan (2015) sugieren que las fluctuaciones en el precio del Bitcoin no pueden ser explicadas por la teoría económica y financiera tradicional. Realizan un análisis estadístico formal del tipo de cambio dólar/Bitcoin usando un amplio rango de distribuciones paramétricas usadas en finanzas. El argumento es que el tipo de cambio se comporta de manera diferente a la mayoría de tipos de cambio entre monedas. Concluyen que la distribución hiperbólica generalizada da el mejor ajuste.

(Cocco & Marchesi, 2016) tratan de simular la economía de la minería Bitcoin. Proponen un modelo con agentes heterogéneos. Simulan precios y los comparan con los precios reales; demuestran que ambas series cumplen los hechos estilizados de varias variables financieras: caminata aleatoria, exceso de curtosis o colas pesadas y volatilidad agrupada.

La evidencia es escasa, sin embargo, el primer autor empíricamente demuestra que el comportamiento de Bitcoin es distinto a los activos tradicionales. Por otro lado, el segundo autor simula la dinámica del precio de Bitcoin y concluye que se comporta como muchas series financieras.

Medición de volatilidad

Sahoo (2017) estudia el crecimiento y la sostenibilidad futura de Bitcoin. Toma datos semanales. Usan modelos ARCH y GARCH y pruebas de raíz unitaria. Se muestran efectos ARCH, lo que indica persistencia en la volatilidad de los rendimientos. Encuentran que en tiempo más reciente la volatilidad se ha reducido, por lo que los autores sugieren que a menor volatilidad una mayor implantación en la población.

En este último apartado, la evidencia es muy escasa, empíricamente muestran que existen efectos ARCH y GARCH y raíces unitarias, los autores concluyen que a medida que pasa el tiempo va disminuyendo el efecto.

En resumen, de la revisión de literatura se observa que la literatura es escasa y se ha centrado en evaluar la presencia de burbujas en el mercado de Bitcoin, otros pocos verifican si Bitcoin cumple los hechos estilizados

de series financieras y finalmente solo se expone un trabajo que estudia la volatilidad.

Por lo tanto, este trabajo trata de contribuir a la literatura existente con la modelación de la dinámica del precio de Bitcoin, asumiendo que la criptomoneda experimenta burbujas financieras frecuentemente.

Metodología

Los modelos estocásticos son utilizados en finanzas para modelar el precio de un activo, el índice de un mercado o las tasas de interés.

Movimiento browniano geométrico

En la literatura financiera es común modelar la dinámica del precio de un activo mediante un proceso browniano geométrico (Lacus, 2011). Denotemos por $\{S_t = S(t), t \geq 0\}$ un proceso estocástico el cual representa el valor de un activo (el precio del activo) al tiempo $t \geq 0$. El proceso S es llamado un proceso de movimiento browniano geométrico si este es la solución a la siguiente ecuación diferencial estocástica:

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu dt + \sigma dB_t \quad (1)$$

Donde μ es el rendimiento esperado, σ es la volatilidad esperada y dB_t es un proceso de Winer o movimiento browniano estándar. μdt modela la parte determinista en el precio, mientras que σdB_t capta las variaciones estocásticas.

La ecuación anterior se puede reescribir de la siguiente manera:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dB_t \quad (2)$$

El modelo anterior es conocido como un movimiento browniano geométrico (MBG) La ecuación anterior es una ecuación diferencial estocástica, la cual se resuelve usando el lema de Itô y cuya solución es la siguiente:

$$S_{t+1} = S_t \cdot \exp \left[\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma \cdot \varepsilon_t \cdot \sqrt{dt} \right] \quad (3)$$

Algunas limitaciones que presenta el MBG es que asume que los rendimientos del activo son log-normales, lo cual implica que rendimientos anormales (valores extremos) tienen una probabilidad de ocurrir de cero. Sin embargo, en la práctica es común que ocurran series financieras con exceso de curtosis, lo que da cabida a que ocurran saltos inesperados. El modelo que asume estas peculiaridades es el modelo de difusión con saltos.

Proceso de difusión con saltos

El proceso de difusión con saltos es una mezcla compuesta por un movimiento browniano geométrico y un proceso de puntos Poisson (Lacus, 2011; Staszkievicz & Staszkievicz, 2015). Este modelo se utiliza para modelar una serie que tiene una variación estocástica normal y saltos abruptos inesperados.

En el contexto de las finanzas cuantitativas, sea S_t el precio de un activo. La dinámica del precio bajo el enfoque de un proceso de difusión con saltos está dado de la siguiente manera:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t + S_t dq_t \quad (4)$$

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu dt + \sigma dW_t + J_t dq_t \quad (5)$$

μ es la tendencia de los rendimientos esperados en un intervalo de tiempo, σ es la volatilidad esperada, dW_t es un movimiento browniano y dq_t es un proceso de Poisson. El tamaño del salto J_t es una variable aleatoria y q_t es un proceso de tiempo continuo y es igual a 1 si un salto ocurre al tiempo t y cero en otro caso.

La siguiente ecuación presenta una versión del proceso de difusión con saltos de Ito.

$$d \log S_t = \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma dB_t + \log(1 + v) dq_t \quad (6)$$

La solución a la ecuación anterior es:

$$S_t = S_0 \exp \left\{ \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma \int_0^t dB_u + (1 + v) \int_0^t dq_u \right\} > 0 \quad (7)$$

Rendimiento anualizado

$$\hat{\mu} = \frac{1}{\tau} \cdot \bar{r} \quad (8)$$

Si los datos son diarios, $\tau = 1/365$, es el cambio en el tiempo anualizado y $\bar{r}$ es el rendimiento promedio diario de un activo.

Volatilidad anualizada

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \cdot S_r \quad (9)$$

Donde S_r representa la volatilidad diaria de un activo.

Desarrollo y análisis

En esta sección se presentan los datos, la estadística descriptiva apoyada de gráficos y tablas, una propuesta de simulación para el tipo de cambio dólar/Bitcoin y peso/dólar para 2017 y 2018 usando el proceso de difusión con saltos y el movimiento browniano geométrico (proceso de difusión sin saltos) y, finalmente, la validación de las simulaciones.

Datos

Para el tipo de cambio dólar/Bitcoin se tienen datos diarios al cierre del 1 de enero de 2017 al 31 de diciembre de 2018, se tienen un total de 730 observaciones. Los datos fueron extraídos del sitio web: www.blockchain.info.

Mientras que para el tipo de cambio peso/dólar, se tienen datos diarios al cierre del 1 de enero de 2017 al 31 de diciembre de 2018, se tienen un total de 502 observaciones, esto debido a que solo se cuentan días hábiles. Los datos fueron extraídos del sitio web: <http://www.banxico.org.mx/>.

La figura 1 muestra el tipo de cambio diario al cierre en dólar/Bitcoin. El precio de Bitcoin se ha comportado de una manera singular, se pueden observar periodos de crecimiento constante seguidos de caídas instantáneas, lo que podría suponer la presencia de burbujas en el precio de mercado. Además, el precio de Bitcoin ha fluctuado en un rango muy amplio.

De manera similar, la figura 2 muestra el tipo de cambio peso/dólar, se puede observar que el precio no varía en un rango amplio, además de que visualmente el comportamiento del dólar tiene mayor similitud a una caminata aleatoria.

Figura 1

Tipo de cambio diario al cierre dólar/Bitcoin
del 1 de enero de 2017 al 31 de diciembre de 2018



Figura 2

Tipo de cambio diario al cierre dólar/Bitcoin
del 1 de enero de 2017 al 31 de diciembre de 2018



Estadística descriptiva

En la literatura financiera es usual analizar el logaritmo de los rendimientos de un activo, en este caso se obtuvieron los log-rendimientos. La Tabla 1 muestra la estadística descriptiva del tipo de cambio dólar/Bitcoin, de los log-rendimientos y la prueba de Jarque Bera para verificar normalidad, separando los datos por año.

Tabla 1

Tipo de cambio dólares/Bitcoin y rendimiento diario por año

		<i>Media</i>	<i>D. E.</i>	<i>Asimetría</i>	<i>Curtosis</i>	<i>JB</i>
2017	Precio	4001.163	4034.843	2.015186	6.626335	447***
	Rendimiento	.0072887	.0482825	.0241412	5.975577	134.3***
2018	Precio	7558.214	2240.69	1.120857	5.283657	155.7***
	Rendimiento	-.003551	.042022	-.8373235	7.185422	308.2***

***p<.01, **p<.05, *p<.10

La Tabla 1 muestra un exceso de curtosis, la prueba de JB confirma que los log-rendimientos no son normales a un 99 % de confianza. Una distribución con exceso de curtosis tiene colas pesadas, en este caso, la probabilidad de que ocurran valores extremos es mayor comparado con una distribución normal. Debido a la existencia de colas pesadas, un proceso de difusión con saltos es adecuado para modelar la dinámica del Bitcoin y los valores extremos (saltos).

De manera similar, la Tabla 2 muestra la estadística descriptiva del tipo de cambio peso/dólar, de los log-rendimientos y la prueba de Jarque Bera para verificar normalidad, separando los datos por año.

Tabla 2

Tipo de cambio peso/dólar y rendimiento diario para el año 2017

		<i>Media</i>	<i>D. E.</i>	<i>Asimetría</i>	<i>Curtosis</i>	<i>JB</i>
2017	Precio	18.90659	1.067787	1.043192	3.522953	48.39***
	Rendimiento	-.000189	.00648	.0973186	4.263765	17.1***
2018	Precio	19.23727	.6906271	.4912073	2.127144	18.06***
	Rendimiento	.0000333	.0073948	.2652929	3.467893	5.21*

***p<.01, **p<.05, *p<.10

Para el tipo de cambio peso/dólar no hay normalidad a un 99 % para el año 2017 y a un 90 % para 2018. Aunque no hay normalidad la curtosis no es tan elevada como en el caso de Bitcoin, esto se observa en la Tabla 2.

Aunque no hay normalidad, debido a que la curtosis no es tan elevada, se propone una simulación usando un proceso de difusión sin saltos, este proceso es también conocido como un movimiento browniano geométrico.

Con la información diaria se obtuvo el rendimiento y la volatilidad anualizada, las tablas 3 y 4 muestran estos resultados. También se señala el precio al inicio de cada año y en el caso de Bitcoin se tiene el número de saltos por año medidos como rendimientos diarios superiores a 7 % en valor absoluto.

De acuerdo con Franchetto (2016), un rendimiento diario superior a 7 % en valor absoluto puede considerarse anormal. Para el periodo estu-

diado aquí, el cual consta de 730 observaciones, se encontraron 82 días con rendimientos anormales (ver Tabla 3).

En el contexto de los eventos raros, en este caso los rendimientos anormales, estos pueden ser modelados como un proceso Poisson. La intensidad del proceso (λ) puede ser aproximado como el número de rendimientos anormales por año.

Tabla 3
Rendimiento y volatilidad anualizada
para el tipo de cambio peso/dólar

	<i>Rendimiento</i>	<i>Volatilidad</i>	<i>Precio inicial</i>
2017	-4.73 %	10.25 %	20.7323
2018	.83 %	11.69 %	19.4899

Tabla 4
Rendimiento y volatilidad anualizada
para el tipo de cambio dólar/Bitcoin

	<i>Rendimiento</i>	<i>Volatilidad</i>	<i>Lambda</i>	<i>Precio inicial</i>
2017	311.15 %	92.17 %	48	997
2018	-99.64 %	80.2 %	34	13,812

Simulación de la dinámica del tipo de cambio dólar/Bitcoin y peso/dólar

De acuerdo con la literatura, la simulación de precios para un activo se realiza para un periodo de un año. A continuación se presentan los datos reales y los datos simulados para 2017 y 2018 usando el proceso de difusión sin saltos (PDSS) para el tipo de cambio peso/dólar y dólar/Bitcoin; además, un proceso de difusión con saltos (PDCS) para el tipo de cambio dólar/Bitcoin.

La propuesta anterior obedece a que a pesar de que no hay normalidad en el tipo de cambio peso/dólar la curtosis no es tan elevada, sugiriendo la no presencia de datos anormales. Por otro lado, para el tipo de cambio dólar/Bitcoin donde se presenten muchos rendimientos anorma-

les, la simulación se hará sin asumir saltos y asumiendo saltos, con esto se comparará cuál simulación ofrece mejores resultados.

Para la simulación se usó la paquetería R Studio versión 3.5.1. En cada año se realizaron 10,000 simulaciones.

Dinámica y simulación del tipo de cambio peso/dólar 2017

Figura 3

Tipo de cambio real peso/dólar para el año 2017

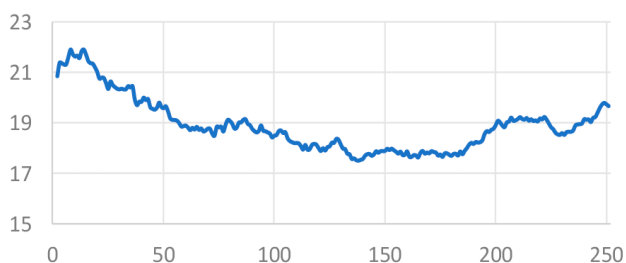


Figura 4

Tipo de cambio con diez simulaciones
aleatorias peso/dólar para el año 2017

Dinámica y simulación del tipo de cambio peso/dólar 2018

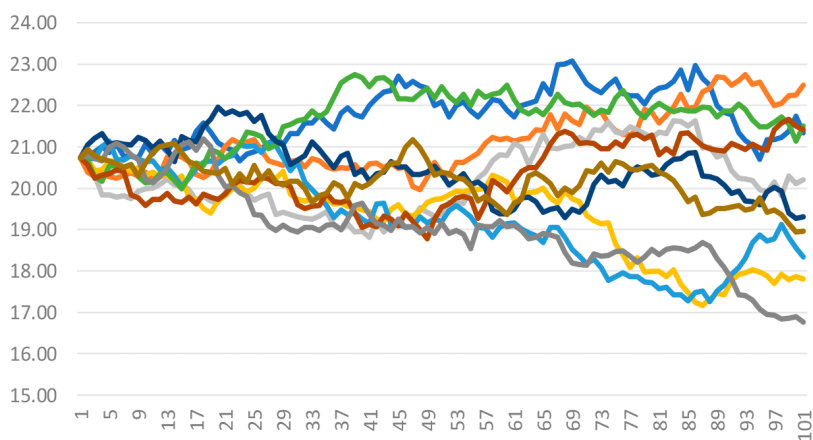


Figura 5
Tipo de cambio real peso/dólar para el año 2018

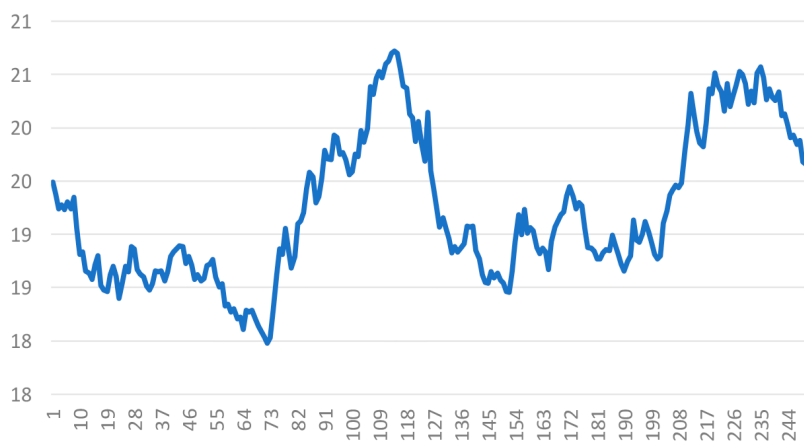


Figura 6
Tipo de cambio con diez simulaciones
aleatorias peso/dólar para el año 2018
Dinámica y simulación del tipo de cambio dólar/Bitcoin 2017

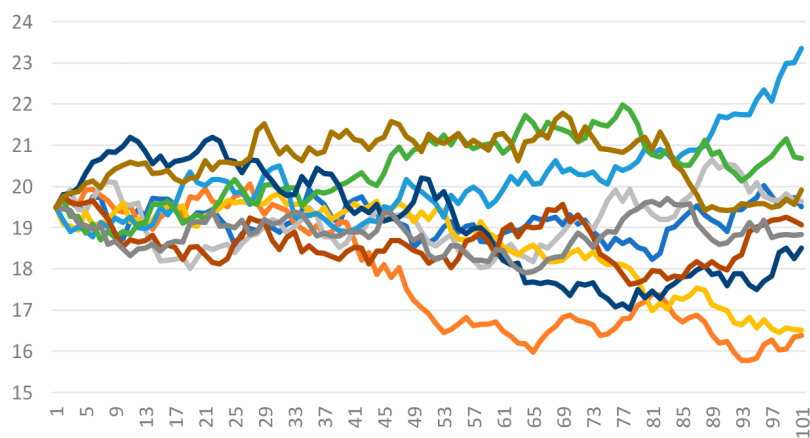


Figura 7

Tipo de cambio real dólar/Bitcoin para el año 2017



Figura 8

Tipo de cambio con diez simulaciones aleatorias
dólar/Bitcoin para el año 2017. Modelo sin saltos

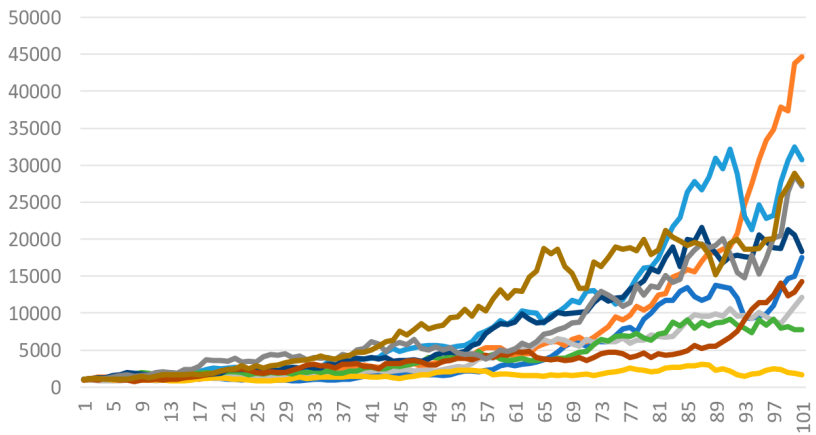


Figura 9

Tipo de cambio con diez simulaciones aleatorias
dólar/Bitcoin para el año 2017. Modelo con saltos
Dinámica y simulación del tipo de cambio dólar/Bitcoin 2018

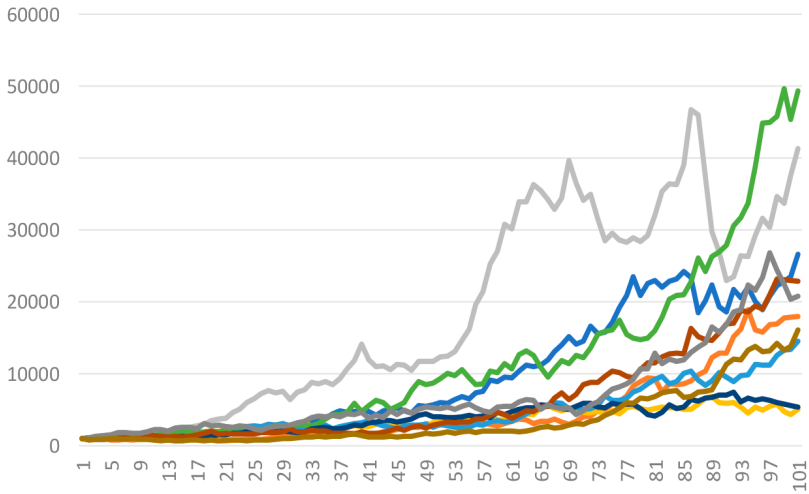


Figura 10

Tipo de cambio real dólar/Bitcoin para el año 2018

precio



Figura 11

Tipo de cambio con diez simulaciones aleatorias
dólar/Bitcoin para el año 2018. Modelo sin saltos

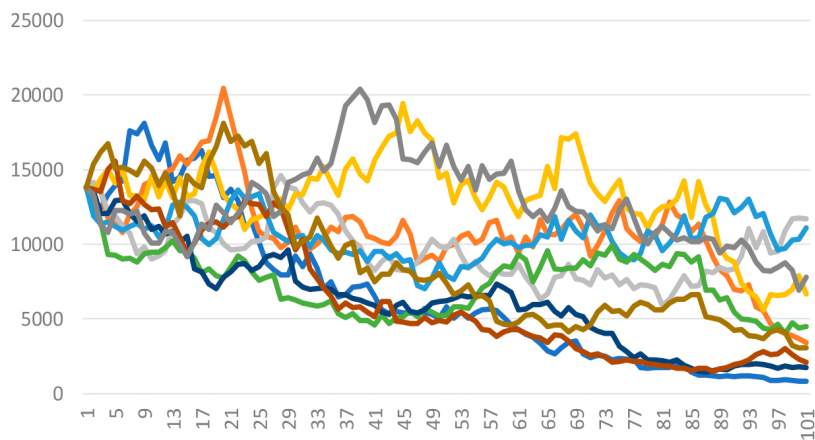
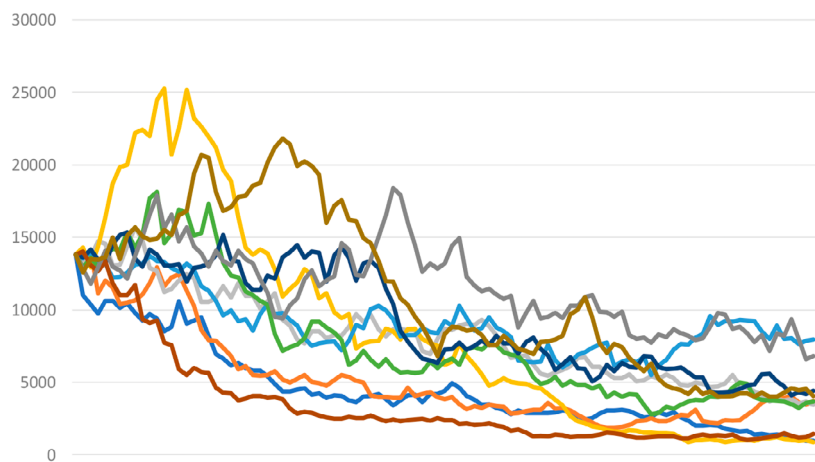


Figura 12

Tipo de cambio con diez simulaciones aleatorias
dólar/Bitcoin para el año 2018. Modelo con saltos



Validación de las simulaciones

De entre las diez mil simulaciones, de manera individual se replica bien la dinámica del tipo de cambio peso/dólar, el movimiento geométrico browniano, o modelo de difusión sin saltos, simula bien la dinámica, se replica bien el precio, y la no normalidad de los precios reales (Ver las tablas 5, 6, y 7).

Con respecto al tipo de cambio dólar/Bitcoin, las simulaciones replican bien el precio promedio, sin embargo, la desviación estándar es mayor en ambas simulaciones, tanto en el modelo sin saltos como en el modelo con saltos. En los rendimientos de Bitcoin ambos modelos simulados muestran no normalidad y alta curtosis similar a los valores reales, sin embargo, los datos simulados usando el modelo con saltos refleja mejor los rendimientos anormales, por lo que se prefiere esta simulación (ver las tablas 7, 8, 9 y 10).

Tabla 5

Descriptivos del tipo de cambio peso/dólar, dólar/Bitcoin sin saltos y dólar/Bitcoin con saltos 2017, basado en 10,000 simulaciones

		<i>Media</i>	<i>D. E.</i>	<i>Asimetría</i>	<i>Curtosis</i>	<i>JB</i>
2017	Peso/Dólar	18.33126	3.2617	-.7961	3.0481	1057***
	Dólar/ Bitcoin ss	21602.73	24481.51	4.6058	47.7296	870000***
	Dólar/ Bitcoin cs	21385.77	24314.81	4.8050	48.6306	910000***
2018	Peso/Dólar	19.6190	2.3016	.3528	3.2084	225.5***
	Dólar/ Bitcoin ss	5079.539	4968.49	3.5454	26.9654	260000***
	Dólar/ Bitcoin cs	5126.464	4951.363	3.6505	29.8757	320000***

***p<.01, **p<.05, *p<.10

Tabla 6

Descriptivos del rendimiento peso/dólar, dólar/Bitcoin sin saltos y dólar/Bitcoin con saltos 2017, basado en 10,000 simulaciones.

		<i>Media</i>	<i>d. e.</i>	<i>Asimetría</i>	<i>Curtosis</i>	<i>jb</i>
2017	Peso/dólar	.0036	.0099	.3459	4.1236	725.5***
	Dólar/Bitcoin ss	.0264	.0903	-.3048	3.2150	174.1***
	Dólar/Bitcoin cs	.0274	.0907	-.3256	3.2250	197.8***

		<i>Media</i>	<i>d. e.</i>	<i>Asimetría</i>	<i>Curtosis</i>	<i>jb</i>
2018	Peso/dólar	.0000	.0118	-.0448	2.9816	3.48
	Dólar/Bitcoin ss	-.0132	.0825	-.2927	3.3066	182***
	Dólar/Bitcoin cs	-.0138	.0808	-.2634	3.1414	124***

***p<.01, **p<.05, *p<.10

Tabla 7

Descriptivos del rendimiento peso/dólar, dólar/Bitcoin sin saltos y dólar/Bitcoin con saltos 2018, basado en 10,000 simulaciones

	<i>Media</i>	<i>Desv. Estándar</i>	<i>Asimetría</i>	<i>Curtosis</i>	<i>jb</i>
Peso/dólar	.0000	.0118	-.0448	2.9816	3.48
Dólar/Bitcoin ss	-.0132	.0825	-.2927	3.3066	182
Dólar/Bitcoin cs	-.0138	.0808	-.2634	3.1414	124

Conclusiones

Tomando el criterio de un rendimiento mayor a 7 % en valor absoluto como un salto, la evidencia para 2017 y 2018 muestra 82 saltos en el precio de Bitcoin. Además, las pruebas de normalidad evidencian un exceso de curtosis, lo que sugiere colas pesadas y la presencia de valores extremos. Con esta evidencia, el proceso de difusión con saltos es correcto para simular la dinámica de Bitcoin, un mercado con alta volatilidad caracterizado por rendimientos anormales. En comparación con el tipo de cambio peso/dólar, a pesar de no haber normalidad la curtosis en este caso no es tan elevada, por lo que la simulación se realizó con un movimiento browniano geométrico, es decir, un modelo de difusión sin saltos.

Se hicieron tres simulaciones y se compara para dar mayor consistencia a los resultados. La simulación para el tipo de cambio peso/dólar fue correcta debido a que no presenta una alta curtosis. Cuando se realizó la simulación para el tipo de cambio dólar/Bitcoin con saltos y sin saltos, el precio promedio fue muy parecido en ambos casos, pero la presencia de saltos es más clara con el modelo de saltos.

Lo anterior lleva a concluir que el modelo de difusión con saltos es correcto para simular la dinámica de Bitcoin, mientras que respecto a los

activos tradicionales como el tipo de cambio peso/dólar se simula bien con un movimiento browniano geométrico, el modelo que no considera saltos.

Partiendo de la premisa de que el mercado de Bitcoin constantemente presenta burbujas, se presenta un modelo que permite capturar la dinámica a pesar de los rendimientos anormales y que puede ser utilizado para hacer un pronóstico del precio del Bitcoin y/o pronosticar cuándo ocurrirán nuevos episodios de burbuja.

Bibliografía

- Antonopoulos, A. M. (2014). *Mastering Bitcoin. Unlocking digital crypto-currencies*. Cambridge: O'reilly.
- Baek, C. & Elbeck, M. (2015). Bitcoins as an investment or speculative vehicle? A first look. *Applied Economics Letters*, 22(1), 30-34.
- Banco Central Europeo (2012). *Virtual Currency Schemes*. Frankfurt.
- Banxico (14 de 09 de 2019). *Banco de México*. Obtenido de Banco de México.
- Blanchard, O. & Watson, M. (1982). *Bubbles, Rational Expectations and Financial Markets*. Cambridge, Ma.
- Blockchain (13 de 05 de 2018). <https://blockchain.info/>. Obtenido de <https://blockchain.info/>
- Cheah, E.-T. & Fry, J. (2015). Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin. *Economics Letters*, (130), 32-36.
- Cheung, A.-K., Roca, E. & Su, J.-J. (2015). Crypto-currency bubbles: an application of the Phillips-Shi-Yu (2013) methodology on Mt. Gox bitcoin prices. *Applied Economics*, 47(23), 2348-2358.
- Chu, J., Nadarajah, S. & Chan, S. (2015). Statistical Analysis of the Exchange Rate of Bitcoin. *PlosOne*, 10(7), 1-27.
- Cocco, L. & Marchesi, M. (2016). Modeling and Simulation of the Economics of Mining in the Bitcoin Market. *PlosOne*, 11(10), 1-31.
- CoinMarketCap (06 de 03 de 2019). *CoinMarketCap*. Obtenido de CoinMarketCap: <https://coinmarketcap.com/>
- Culleres, G. (2014). El bitcoin y su posible impacto en los mercados. *Observatorio de Divulgación Científica*(16).

- Donier, J. & Bouchaud, J. (2015). Why Do Markets Crash? Bitcoin Data Offers Unprecedented Insights. *PLOS ONE*, 10(10), 1-11.
- Fama, E. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 383-417.
- Florescu, I. (2014). *Probability and Stochastic Processes*. NJ: Wiley.
- Forró, Z. (2015). *Detecting Bubbles in Financial Markets: Fundamental and Dynamical Approaches*. Obtenido de ETH Zürich: <https://www.ethz.ch/en.html>
- Franchetto, M. (2016). *Stochastic online and offline calibration of jump-diffusion model for financial bubbles and crashes whith non-local self-referencing mispricing and an application to risk measure estimation*. ETH Zürich.
- GAFI (2014). *Monedas Virtuales. Definiciones claves y riesgos potenciales de LA/FT*.
- Hafner, C. (2018). Testing for bubbles in cryptocurrencies with time timevarying. *Center For Operation Research and Econometrics*, 1-30.
- Hencic, A. & Gouriéroux, C. (2015). Noncausal Autoregressive Model in Application to Bitcoin/USD Exchange Rates. En V. -N. Huynh, *Econometrics of Risk* (pp. 17-40).
- Lacus, E. (2011). *Option Pricing and Estimation of Financial Models with R*. UK: Wiley.
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. Recuperado el 5 de noviembre de 2017, de Bitcoin: www.bitcoin.org
- Sahoo, P. K. (2017). Bitcoin as digital money: Its growth and future sustainability. *Theoretical and Applied Economics*, 24(4), 53-64.
- Scaillet, O., Treccani, A. & Trevisan, C. (2017). High-Frequency Jump Analysis of the Bitcoin Market. *sfi research*, 1-28.
- Staszkievicz, P. & Staszkievicz, L. (2015). *Finance. A Quantitative Introduction. Volume I*. Londres: Academic Press.

CAPÍTULO 10

PROCESOS ESTOCÁSTICOS, ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES Y EL MODELO DE BLACK-SCHOLES EN EL MUNDO FINANCIERO

LAURA SELENE VIELMAS GARCÍA
VÍCTOR HUGO GUALAJARA ESTRADA
SALVADOR SANDOVAL BRAVO

Introducción

Haciendo un poco de historia, la teoría de procesos estocásticos, iniciada en los años 1930 por los probabilistas Paul Lévy y Joseph Doob, había adquirido en la década de 1970 un considerable desarrollo en el que habían participado matemáticos y probabilistas de la talla de Kolmogorov, Feller, Kai Lai Chung, Loève, Cramér, Dynkin y muchos otros. Sus aplicaciones en física teórica, epidemiología, sociología, ingeniería, etc., son importantes, pero no habían tenido la fuerza suficiente para que los procesos estocásticos trascendiesen del ámbito académico de las universidades y los centros de Investigación. Sin embargo, en 1973 dos economistas, Fisher Black y Myron Scholes, desarrollaron una técnica de valoración de opciones, explicada con más precisión por Robert Merton (Black & Scholes, 2019), que supuso una verdadera revolución en el mundo financiero. El problema de la valoración de opciones era un problema pendiente y antiguo como reconocimiento, el premio Nobel de Economía de 1997 fue otorgado a Scholes y Merton (Black había muerto en 1995) por sus trabajos en esta materia, dado su tremendo impacto en la comprensión de las leyes que rigen los mercados financieros. La metodología de Black-Scholes-Merton se basa en técnicas de procesos estocásticos considerablemente

sofisticadas y, consecuentemente, desde mediados de la década de 1980, el mundo de los brókers y las sociedades de inversión han adquirido un sorprendente interés por las peculiaridades del movimiento browniano y los entresijos del cálculo diferencial estocástico de Itô (Cuesta Yustas, 2014).

La gran cantidad de investigaciones relacionadas con el mercado financiero y su comportamiento (Schädler, 2021; Ma & Li, 2020), así como el movimiento continuo de los precios de las acciones y su análisis general, han dado como resultado un amplio conocimiento de las propiedades teóricas de tales entidades, y el intento de entender y pronosticar su comportamiento en periodos de tiempo corto hace que nazca un interés en áreas industriales y empresariales, depositando el trabajo al campo matemático, y dada la presencia de saltos bruscos en las operaciones económicas en el tiempo real, la aplicación del modelo B&S resulta una herramienta confiable hacia el campo de las inversiones.

Revisión de la literatura

Habiendo iniciado en la física, el movimiento browniano y llevado a la matemática con el nombre de procesos de Wiener, es clave en el estudio de procesos estocásticos, por su aplicación en la modelación (Evans, 2012).

En este contexto, podríamos trabajar con la siguiente definición: Un proceso estocástico $W(t)$ es llamado un proceso de Wiener o movimiento browniano si las siguientes propiedades se satisfacen:

- $W(0) = 0$
- Dado $t > 0$ entonces $W(t) - W(s) \sim N(0, t - s)$
- Incrementos independientes: Considerar $t_1 < t_2 < \dots < t_n$. Entonces

$W(t_1), W(t_2) - W(t_1), \dots, W(t_n) - W(t_{n-1})$ son independientes

Debido a que este concepto está incluido en una cantidad gran cantidad de temas y áreas matemáticas, su definición incluye entre otros tópicos los procesos de Gauss-Markov, como se explican en (Doob, 1990). Aquí se retoma esta propiedad de Markov.

Tal como concepto, sea X un proceso estocástico. Se dice que X es un proceso de Markov si para todo $t, s > 0$ lo siguiente se mantiene

$$P(X(t) \leq y \mid F_s = X(t) \leq y \mid X(s)) \quad (1)$$

donde $F_s := U(X(r) \mid 0 \leq r \leq s)$ es el tiempo del proceso hasta el momento s .

Sabiendo la importancia que tiene para el desarrollo de la fórmula de Itô para integrales estocásticas, como se menciona en (Gihman *et al.*, 1979), se construye una definición similar, es decir, dado un proceso estocástico de valores reales $X(\cdot)$ satisfaciendo

$$X(r, w) = X(s, w) + \int_s^r F(t, w) dt + \int_s^r G(t, w) dW, w \in \Omega \quad (2)$$

donde las siguientes condiciones son satisfechas: $F \in L^1(0, T)$, $G \in L^2(0, T)$, $0 \leq s \leq r \leq T$. Entonces el proceso estocástico X se dice que X es un diferencial estocástico

$$dX = Fdt + GdW \quad (3)$$

Tradicionalmente, trabajada como una herramienta abreviada para que integral usada previamente. Y ahora tomando como apoyo las bases dadas en (Buchanan, 2012; Evans, 2012) podemos llegar a citar el siguiente teorema (Fórmula de Ito).

Suponga que X tiene una integral estocástica que cumple con siguiente propiedad:

$$dX = Fdt + GdW$$

donde $F \in L^1(0, T)$, $G \in L^2(0, T)$. Entonces, considerar $u : \mathbb{R} \times [0, T] \rightarrow \mathbb{R}$ como una función continua con derivadas de segundo orden. El proceso

$$Y(t) = u(X(t), t) \quad (4)$$

tiene el siguiente diferencial estocástico:

$$dY = \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial X} F + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial X^2} G^2 \right) dt + \frac{\partial u}{\partial X} G dW \quad (5)$$

Un concepto clave para la aplicación del cálculo estocástico, y de Itô, es el empleo adecuado del tipo de ecuaciones diferenciales, denominadas regularmente como ecuaciones diferenciales estocásticas (EDE).

El primer trabajo relacionado con las EDE fue la descripción del movimiento browniano hecho por Albert Einstein (1905). Simultáneamente, Marian Smoluchowski trabajó sobre el mismo tema. Sin embargo, otro de los primeros trabajos relacionados es el trabajo de Louis Bachelier (1900) en su tesis doctoral “Teoría de la Especulación”, dedicada a las fluctuaciones de títulos bursátiles. Este trabajo fue secundado por Paul Langevin y, posteriormente, Kiyoshi Itô y Ruslan L. Stratonovich formularon de manera rigurosa la noción de EDE. En física, las ecuaciones diferenciales estocásticas (EDE) se escriben como ecuaciones de Langevin. Por eso a veces se denominan de manera algo confusa “ecuaciones de Langevin”, aunque existen muchas formas alternativas. Estas formas incluyen ecuaciones diferenciales ordinarias que contienen una parte determinista junto a un término adicional aleatorio que es un ruido blanco. Una segunda forma es la ecuación de Smoluchowski o, más en general, ecuación de Fokker-Planck, estas últimas son ecuaciones en derivadas parciales que describen la evolución de la función de densidad de probabilidad asociada a la solución de la ecuación estocástica. La tercera forma es la que se usa con mayor frecuencia en matemática general y finanzas cuantitativas. Esta forma es similar a la forma de Langevin, pero se escribe usualmente en forma diferencial. Las EDE aparecen en dos variedades, correspondiéndose con los dos tipos de cálculo estocástico. Este tipo concreto de fórmulas descriptivas se utilizan para describir con precisión procesos probabilísticos aleatorios, como en (Oksendal, 2013).

Podremos trabajar con la siguiente definición: De manera análoga al caso determinista las EDE, son ecuaciones diferenciales para las cuales la variable independiente es caracterizada por el uso de funciones o variables aleatorias.

Se dice que la variable aleatoria X es parte de la EDE:

$$dX = b(X, t)dt + B(X, t)dW \quad (6)$$

con condición inicial

$$X(0) = X_0$$

para todo $0 \leq t \leq T$, dado que se cumplen las próximas condiciones:

- $X(\cdot)$ es no anticipativo en relación con $F(t) = U(W(s) : 0 \leq s \leq t)$.
- $b(X, t) \in L^1(0, T)$.
- $B(X, t) \in L^2(0, T)$.
- $X(t) = X_0 + \int_0^t b(X(s), s)ds + \int_0^t B(X(s), s)dW$ donde $0 \leq t \leq T$.

Recordemos que, en el escenario determinista, se mantienen las siguientes implicaciones:

$$x'(t) = f(x), x(0) = x_0, dx = f dt$$

Así,

$$x(t) = x_0 + \int_0^t f(x(t))dt \quad (7)$$

$$x(0) = x_0.$$

En finanzas, como se describe en (Hull, 2013), podríamos revisar los siguientes conceptos: Una opción es una herramienta que otorga al propietario de dicha entidad el derecho, pero no la necesidad imperiosa, de realizar inversiones, comprar o vender, en general, completar una transacción financiera. Debido a esta calidad, las opciones a menudo se denominan valores o derivados. Es decir, una opción brinda al tenedor la oportunidad de mantener un precio previo acordado sobre una pieza de acción, cuyas fracciones o unidades financieras se conocen como acciones y estas son independientes de las fluctuaciones observadas en la bolsa. Las acciones se ubican como elementos financieros particulares debido a la volatilidad que distingue sus precios.

Por simplicidad, a partir de este elemento se utilizará el tipo de acción más elemental: opciones europeas, las cuales poseen un tiempo de vencimiento, es decir, la fecha en el que el tenedor podría comprar o vender acciones; estas se acuerdan en previo, se denominará el activo subyacente y, si se hace ejercer la opción como el precio de ejercicio. Las opciones europeas se caracterizan por no pagar dividendos. Los tipos de opciones europeas que tienen lugar en estas operaciones se identifican como opciones de compra (CALL), cuando el valor otorga el derecho a comprar

el activo, y la opción de venta (PUT), cuando permite al tenedor vender dichos activos.

El peso fuerte de este trabajo se apoya en la opción de compra, además, cabe señalar que la totalidad de movimientos financieros realizados por un inversor, con respecto a un conjunto específico de activos, se denomina portafolio.

Existen problemas teóricos a la hora de realizar inversiones seguras; un caso es el evento detrás de un trato en el que una de las partes involucradas tiene, a sabiendas, más posibilidades de obtener una ganancia, mientras que otras generan pérdidas. Este concepto se denomina arbitraje, se genera por la fijación de precios incorrecta de las entidades financieras.

En un contexto similar al proceso descrito (Dothan, 2008), el arbitraje es una estrategia financiera que consiste en aprovechar la diferencia de precio entre diferentes mercados sobre un mismo activo financiero para obtener un beneficio económico, normalmente sin riesgo. Para realizar arbitraje se realizan operaciones complementarias (comprar y vender) al mismo tiempo y se espera a que los precios se ajusten. El arbitraje aprovecha esa divergencia y obtiene una ganancia libre de riesgo. Dicho de otra manera, el arbitrajista se posiciona en corto (vende) en el mercado con mayor precio, y largo (compra) en el mercado con menor precio. El beneficio vendría dado por la diferencia entre ambos mercados. El arbitraje es posible debido a ineficiencias en los mercados. Cuando no hay posibilidad de hacerlo se dice que se cumple la condición de no arbitraje. Cuanto más eficiente sea un mercado, más difícil será realizarlo.

El tratamiento de los términos generales y financieros se abordará siguiendo la estructura dada por Gaviño-Nava *et al.* (2020), tomando en cuenta su notación y metodología.

Con todos los términos anteriores vistos, podemos abordar el llamado Teorema Principal de las Finanzas. La idea detrás del Teorema de Arbitraje, como se maneja en (Buchanan, 2012), es que existe un vector de probabilidad $z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ en el conjunto de todos los resultados posibles de un experimento, de modo que el valor esperado del rendimiento de cada apuesta debe ser cero. El teorema dice lo siguiente:

Solamente uno de los siguientes enunciados es verdadero

- a. Existe un vector de probabilidad $z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ tal que
- b. $\sum_{j=1}^m z_j r_{ij} = 0, \forall i = 1, 2, \dots, n.$
- c. Existe una estrategia de apuestas definida como $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ tal que
$$\sum_{i=1}^n x_i r_{ij} > 0, \forall j = 1, 2, \dots, m$$

Con el objetivo de explicar el modelo B&S, es necesario hablar de sus elementos. Para esto nos apoyaremos en (Braumann, 2019). Como primer paso, se tendrá se hablará de estrategia comercial. Esto se traduce directamente en la cantidad de activos que un inversor obtiene o vende, en términos de bonos y acciones; estos se modelan utilizando la expresión $(b_t, s_t), t > 0$ donde las variables b y s representan la cantidad de bonos y acciones, respectivamente, a lo largo del tiempo t .

Ahora, tiene B_t como el precio del bono en el tiempo t y S_t como la acción o el precio de la acción en ese momento (tiempo). Si bien este escenario considera un portafolio de autofinanciamiento o préstamos externos, aún debe observarse que el valor total al final de todos los movimientos se expresa matemáticamente por la suma del valor inicial (al comienzo de la inversión), expresado por:

$$b_0 B_0 + s_0 S_0 \quad (8)$$

y el precio o rendimiento acumulado, ganado o perdido a lo largo del tiempo $n \in (0, t]$, lo que significa que el valor total en el tiempo t está determinado por

$$b_t B_t + s_t S_t = b_0 B_0 + s_0 S_0 + \int_0^t b_n d B_n + \int_0^t s_n d S_n \quad (9)$$

Por lo tanto, la condición que tendría en esta formulación, para que el tenedor de un valor tenga un ingreso positivo, se expresa de la siguiente manera:

$$(S_T - K)^+ := \max(S_T - K, 0) \quad (10)$$

Este precio justo ampliamente mencionado de una opción de compra durante el tiempo $t \in [0, T]$ ahora de denotada por c_t .

Siguiendo la notación anterior, el precio justo de la opción en el tiempo de vencimiento T debe ser

$$c_T = (S_T - K)^+ \quad (11)$$

donde el supuesto es que existe una estrategia comercial específica, como se indicó anteriormente, digamos (b_t, s_t) tal que

$$(b_TB_T + s_TS_T) = c_T \quad (12)$$

y cumpliendo con la condición implícita de no arbitraje, por lo tanto

$$b_0B_0 + s_0S_0 = c_0 \quad (13)$$

Ahora bien, cabe señalar que, al precio de una opción u acción, es decir, S_t , posee la propiedad de Markov, y dado que es lógico que el precio justo de una opción no dependa de los precios anteriores o futuros de dicha acción, sino solo del tiempo presente t , por lo tanto, existe una función $C(t, x)$ que cumple la condición

$$c_t = C(t, S_t), t \in [0, T] \quad (14)$$

y dado (11) está definido como una frontera; entonces:

$$(S_T - K)^+ = C(T, S_T).$$

Así, se sigue que:

$$(x - K)^+ = C(T, x)$$

Ahora, siguiendo todas las bases anteriores, bajo el supuesto de $S_0 > 0$ es un número real, el precio de una unidad de acciones se puede describir utilizando el cálculo de Itô y su respectiva EDE, por lo tanto

$$d(S_T) = \mu S_T dt + \sigma S_T d(W_T) \quad (15)$$

donde $\sigma > 0$ representa la volatilidad histórica (o fluctuaciones medibles en el mercado) y μ la media aritmética de la tasa de retorno en cuestión.

Por sustitución en tal EDE, sabiendo que el precio justo de estos activos está determinado por c_t y $C(t, x)$, empleando la fórmula de Itô, se sabe que:

$$d(c_t) = \frac{\partial C(t, S_t)}{\partial t} dt + \frac{\partial C(t, S_t)}{\partial x} d(S_t) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C(t, S_t)}{\partial x^2} d^2(S_t) \quad (16)$$

A partir de este punto, por conveniencia y notación, las derivadas parciales de C se abreviarán de la siguiente manera:

$$\frac{\partial C(t, S_t)}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial x}, \quad \frac{\partial C(t, S_t)}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial t}, \quad \frac{\partial^2 C(t, S_t)}{\partial x^2} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (17)$$

Ahora, en aras de simplicidad y siguiendo (15) y la fórmula de Itô, es decir (5), se tiene que:

$$d(c_t) = \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial x} \mu S_t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \sigma^2 S_t^2 \right) dt + \frac{\partial C}{\partial x} \sigma S_t d(W_t) \quad (18)$$

Luego, fusionando (9) y (5), resulta que:

$$c_t = b_t B_t + s_t S_t \quad (19)$$

$$= b_0 B_0 + s_0 S_0 + \int_0^t b_n d(B_n) + \int_0^t s_n d(S_n)$$

Por lo que está implícito que:

$$d(c_t) = b_t d(B_t) + s_t d(S_t)$$

Entonces, la ecuación (15) y el hecho de que $d(B_t) = r B_t dt$, la ecuación anterior se expresa como:

$$\begin{aligned} d(c_t) &= b_t r B_t dt + s_t (\mu S_t dt + \sigma S_t d(W_t)) \\ &= (b_t r B_t + s_t \mu S_t) dt + s_t \sigma S_t d(W_t) \end{aligned} \quad (20)$$

donde los coeficientes que representan las fluctuaciones de volatilidad y su derivada, así como los componentes deterministas y estocásticos de las ecuaciones (18) y (20), tenemos como resultado:

$$b_t r B_t + s_t \mu S_t = \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial x} \mu S_t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \sigma^2 S_t^2 \quad (21)$$

y

$$s_t \sigma S_t = \frac{\partial C}{\partial x} \sigma S_t$$

Ahora, considerando que tanto el precio de las acciones como las fluctuaciones de volatilidad son distintos de cero, S_t se expresa como

$$S_t = \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C(t, S_t)}{\partial x} \quad (22)$$

A partir, entonces, combinando (19) y (14) con la ecuación anterior, se obtendrá que

$$c_t = C(t, S_t) = b_t B_t + s_t S_t = b_t B_t + S_t \frac{\partial C}{\partial x}$$

Lo cual implica

$$b_t = \left(C(t, S_t) - S_t \frac{\partial C}{\partial x} \right) \frac{1}{B_t} \quad (23)$$

Para simplificar el modelo, el precio de la acción S_t será reemplazado nuevamente por la variable x , y reemplazando en (21) las ecuaciones (22) y (23) la siguiente ecuación diferencial da como resultado:

$$rC(t, S_t) - r \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) x + \frac{\partial C}{\partial x} \mu x = \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial x} \mu x + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \sigma^2 x^2$$

Simplificando

$$-\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial x} r x + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \sigma^2 x^2 - rC(t, S_t) \quad (24)$$

La ecuación (24) se conoce formalmente como la Ecuación de Black-Scholes.

Las fórmulas de Feynman y Kac aparecen como un vínculo fundamental entre la teoría de los procesos estocásticos y las ecuaciones diferenciales parciales. Establecen que la solución de ciertos problemas de valores a la frontera es por la esperanza de una funcional de un proceso de difusión cuyos coeficientes coinciden con los del operador diferencial del problema dado.

Como introducción histórica, los principios de la integración funcional fueron planteados por primera vez en 1923 por Norbert Wiener, en el artículo “Differential Space”. El término de “espacio diferencial” enfatiza la ventaja de trabajar con las diferencias entre los valores de las funciones en lugar de los valores mismos. La medida que él construyó en este espacio diferencial es la medida de Wiener. Esta medida de Wiener es una medida gaussiana, que corresponde a la probabilidad de transición del movimiento browniano.

Esta versátil herramienta se explica con más detalle en (Del Moral, 2004); establece lo siguiente:

Sea w_x una función C^2 con soporte compacto. Sea r_x una función continua y acotada inferiormente, entonces la función $m(t, x)$ está definida por

$$m(t, x) := E \left(e^{-\int_0^t r_{x_s} ds} w_{X_t} \right) \quad (25)$$

satisface la ecuación diferencial parcial definida por

$$\frac{\partial m}{\partial t} = Qm - rm \quad (26)$$

con una condición de frontera definida por

$$m(0^+, x) = w_x \quad (27)$$

y Q siendo un operador de difusión igual a:

$$Q := a(x) \frac{\partial}{\partial x} + \frac{1}{2} b(x) \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (28)$$

La fórmula de Feynman-Kac está fuera el alcance de este trabajo, pero puede usarse como un apoyo para resolver la Fórmula de Black-Scholes, por lo cual se utilizará. Primero es necesario identificar el modelo de Black-Scholes como un caso específico de la fórmula Feynman-Kac. Notar que después de los siguientes ajustes, dicho modelo entra en la hipótesis de la formulación, en primer lugar, considere el tiempo hasta la fecha de caducidad como $\tau = (T - t)$, entonces definimos la función

$$C(T - \tau, x) = C(t, x) = H(\tau, x) \quad (29)$$

resultando en $c_t = H(T - t, S_t)$ y usando estos términos en la relación (24) nos da

$$\frac{\partial H}{\partial r} = \frac{\partial H}{\partial x} rx + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \sigma^2 x^2 - rH$$

Por lo tanto, ahora es fácil ver que esta ecuación corresponde a la ecuación Feynman-Kac (26) con $H = m$, y

$$Q = rx \frac{\partial}{\partial x} + \frac{1}{2} \sigma^2 x^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (30)$$

cuyo límite está definido como $H(0, x) = (x - K)^+$ que, en términos de Feynman-Kac, corresponde a $w_x = (x - K)^+$. Aplicando dicha fórmula directamente a la última ecuación, la solución se transforma en

$$H(\tau, x) = E \left(e^{-\int_0^\tau r ds} (X_\tau - K^+) \right)$$

lo cual equivale a

$$H(\tau, x) = E(e^{-r\tau} (X_\tau - K^+)) \quad (31)$$

Ahora a partir del proceso de difusión

$$d(X_t) = rX_t dt + \sigma X_t d(W_t)$$

cuya solución es

$$X_\tau = x e^{\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)\tau + \sigma W_\tau}$$

tomando $Z_\tau = \ln(X_\tau)$ que sigue una distribución normal

$$Z_\tau \sim N\left(\ln(x) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)\tau, \sigma^2\tau\right).$$

Sustituyendo $X_\tau = e^{Z_\tau}$ en la ecuación (31), la siguiente expresión es obtenida:

$$H(\tau, x) = e^{-r\tau} E((e^{Z_\tau} - K)^+) \quad (32)$$

Por simplicidad, definimos $\rho = r - \frac{\sigma^2}{2}$ y $\psi = r + \frac{\sigma^2}{2}$, la cual implica que:

$$H(\tau, x) = e^{-r\tau} \int_{-\infty}^{+\infty} (e^z - K)^+ \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z - \ln(x) - \rho\tau)^2}{2\sigma^2\tau}} dz \quad (33)$$

entonces, usando que $(e^z - K)^+$ es cero para $z \leq \ln(K)$, y manipulando las ecuaciones, se obtiene lo siguiente:

$$H(\tau, x) = \int_{\ln(K)}^{+\infty} x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z - \ln(x) - \psi\tau)^2}{2\sigma^2\tau}} dz - \int_{\ln(K)}^{+\infty} e^{-r\tau} K \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z - \ln(x) - \sigma\tau)^2}{2\sigma^2\tau}} dz$$

Ahora, usando el cambio de variable $u = \frac{\ln(K) - \ln(x) - \psi\tau}{\sigma\sqrt{\tau}}$ y $v = \frac{\ln(K) - \ln(x) - \rho\tau}{\sigma\sqrt{\tau}}$ para simplificar la integral por modificar, estos límites devuelven lo siguiente:

$$H(\tau, x) = x \int_{\frac{\ln(K) - \ln(x) - \psi\tau}{\sigma\sqrt{\tau}}}^{+\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du - e^{-r\tau} K \int_{\frac{\ln(K) - \ln(x) - \rho\tau}{\sigma\sqrt{\tau}}}^{+\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{v^2}{2}} dv \quad (34)$$

Recordando el hecho de que la distribución gaussiana para una variable aleatoria es definida por

$$\Phi(u) = \int_0^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

y usando la simetría rotacional que caracteriza la distribución acumulativa

$$1 - \Phi(x) = \Phi(-x)$$

se nota que

$$H(\tau, x) = x \left[1 - \Phi \left(\frac{\ln(K) - \ln(x) - \psi\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} \right) \right] - e^{-r\tau} K \left[1 - \Phi \left(\frac{\ln(K) - \ln(x) - \rho\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} \right) \right] \quad (35)$$

Usando la ecuación (29) el modelo de Black-Scholes es obtenido,

$$C_F(t, x) = x\Phi(q_1(t, x)) - Ke^{-r(T-t)}\Phi(q_2(t, x)) \quad (36)$$

donde C_F representa el precio justo de compra y q_1 y q_2 se expresan de la siguiente forma

$$q_1(t, x) = \frac{\ln(x/K) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{(T-t)}} \quad (37)$$

$$q_2(t, x) = \frac{\ln(x/K) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{(T-t)}} \quad (38)$$

Además, observamos que $q_2(t, x) = q_1(t, x) - \sigma\sqrt{(T-t)}$.

Para aplicar este modelo financiero para calcular $C_F(t, S_t)$ (una vez más, la aproximación para el precio justo de la opción) dentro de las fluctuaciones del mercado, solo es necesario conocer la volatilidad histórica del valor, el precio actual de la acción, determinado por el mercado y el poseedor de dicho activo, $S_t = x$, y el tiempo de vencimiento de la opción que se compra, T , así como el tiempo de negociación de las opciones seleccionadas. Por lo tanto, por sustitución directa queda claro que el modelo se convierte en:

$$C_F(t, S_t) = S_t \Phi(q_1(t, S_t)) - K e^{-r(T-t)} \Phi(q_2(t, S_t)) \quad (39)$$

con q_1 y q_2 definidos por

$$q_1(t, S_t) = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{(T-t)}} \quad (40)$$

$$q_2(t, S_t) = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{(T-t)}} \quad (41)$$

y el valor de la opción inicial es $C_F(0, S_0)$.

Como se trabaja en los artículos de Daly (2008), la estimación de volatilidad histórica se define por la medida estadística para la aproximación de la volatilidad financiera, definida como, σ , está determinada por

$$\sigma = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}}{\sqrt{T_y}} \quad (42)$$

donde,

$$r_i = \ln\left(\frac{S(i)}{S(i-1)}\right) \quad (43)$$

siendo $S(i)$ el precio de la acción el día i del año seleccionado. Obsérvese que r_i representa los retornos de registros individuales, que se traduce en el cambio del percentil entre el precio de las acciones del último día y el precio real de dicho activo, $\bar{r}$ es la tasa de retorno promedio de la muestra, y $\sqrt{T_y}$ es la tasa de normalización, utilizando el total de días de mercado.

Existen cinco principales variables, denominadas “Las Griegas”, en referencia a la utilización del alfabeto griego para denominarlas. Delta, Gamma, Theta, Rho, y Vega, la cual no es letra griega, pero es la que se usa para referirse a la volatilidad implícita. Son medidas de sensibilidad para aproximar las primas.

$$\Delta = \frac{\partial V}{\partial S} \quad (44)$$

Delta mide la variación que existe en la prima ante la variación del precio del subyacente. Por cada unidad que varíe el activo subyacente la prima variará un porcentaje de esa fluctuación.

La siguiente griega que nos encontramos es *Gamma* o factor riesgo, refleja el cambio en delta por cada variación unitaria del activo subyacente. Es la segunda derivada del precio del subyacente y por consiguiente la derivada de delta, y al contrario de esta, tiene el mismo valor tanto para la Call como para la Put para el mismo *strike* y vencimiento.

$$\Theta = \frac{\partial V}{\partial T} \quad (45)$$

La tercera griega se conoce como *Theta* o fecha de vencimiento. Tiene una relación directa con el valor temporal, que disminuye con el transcurso del tiempo. *Theta* mide la variación o sensibilidad de la prima al transcurso del tiempo. Cuánto se reduce el valor teórico de una opción cuando transcurre un día manteniendo volatilidad y precio del subyacente.

$$\Theta = \frac{\partial V}{\partial r} \quad (46)$$

Rho es la cuarta de las principales griegas que afectan a las primas de las opciones. Mide la sensibilidad en las primas a cambios porcentuales en la tasa de interés libre de riesgo, concretamente el bono estadounidense a diez años. Es casi un valor teórico, ya que el impacto suele ser mínimo, pues los cambios no suelen tener una variación drástica.

$$\rho = \frac{\partial V}{\partial \sigma} \quad (47)$$

La cuarta variable se conoce como *Vega*, que mide la sensibilidad a la volatilidad del subyacente, concretamente el cambio en las primas por cada cambio porcentual en la volatilidad, es idéntica tanto en las Calls como en las Puts.

Estos conceptos se describen como son desarrollados en (Diricle, 2017).

Metodología

El proceso en un contexto muy general para la metodología de este trabajo se constituye de las de las siguientes etapas: El modelo Black-Scholes se trabajó con la implementación de un código Python que se proporciona en *Python for Finance* (Python for Finance, 2021 [página web]), en una referencia a la cual se le realizaron algunas adaptaciones. El programa descargó, leyó y analizó los datos históricos de un periodo establecido antes de fechas determinadas. Posteriormente, para el cálculo del Call de la opción europea, junto con el cálculo de la volatilidad histórica, se ejecutó el programa. Después, al código inicial se le realizó un cambio en su estructura, incorporándole un módulo con la valuación del derivado financiero mediante el modelo de B&S abordado por la Fórmula de Feynman-Kac, se volvió a realizar el cálculo de los indicadores del derivado realizado con el código anterior. Finalmente, se tomó nuevamente el código inicial para determinar el valor de las “Cinco Griegas” principales de la opción financiera, y con los resultados de las tres etapas se realizaron observaciones y predicciones.

Desarrollo o análisis

El citado código que se tomó y se aplicó a las estimaciones reales de los precios justos de las opciones de compra en un conjunto de diferentes empresas, retratando los principales resultados y comparándolos. Los valores estimados de las opciones se tomaron en diferentes escenarios con las dos diferentes metodologías (tradicional y mediante Feynman-Kac). Para obtener los datos del mercado, así como el análisis histórico de los precios establecidos y la lista de precios actuales que varían en las fechas seleccionadas, se utilizarán la base de datos y registros de Yahoo Finance (2021) para cada experimento. Se agregó el análisis de las “Cinco Griegas” para las opciones financieras, como se indica al final de la revisión de literatura.

Tabla 1

Datos base 1 analizados (generados con JupyterNotebook: Python 3)

	High	Low	Open	Close	Volume	Adj Close
Date						
2021-08-18	444.630005	438.920013	442.959991	439.179993	89351900.0	439.179993
2021-08-19	441.140015	436.119995	436.269989	439.859985	92812200.0	439.859985
2021-08-20	443.709991	439.709991	440.230011	443.359985	71975900.0	443.359985
2021-08-23	448.230011	443.440002	445.160004	447.260010	54903400.0	447.260010
2021-08-24	448.459991	447.420013	447.970001	448.364990	22893354.0	448.364990

Tabla 2

Datos base 1 analizados (generados con JupyterNotebook: Python 3)

	High	Low	Open	Close	Volume	Adj Close	R. Aritmetico
Date							
2021-08-17	444.959991	440.850006	444.239990	444.040009	92673900.0	444.040009	-0.006555
2021-08-18	444.630005	438.920013	442.959991	439.179993	89351900.0	439.179993	-0.010945
2021-08-19	441.140015	436.119995	436.269989	439.859985	92812200.0	439.859985	0.001548
2021-08-20	443.709991	439.709991	440.230011	443.359985	71975900.0	443.359985	0.007957
2021-08-23	448.230011	443.440002	445.160004	447.260010	54903400.0	447.260010	0.008797

Figura 1
Retornos Históricos (generado con Syder 4:
Python, Python para Finance)

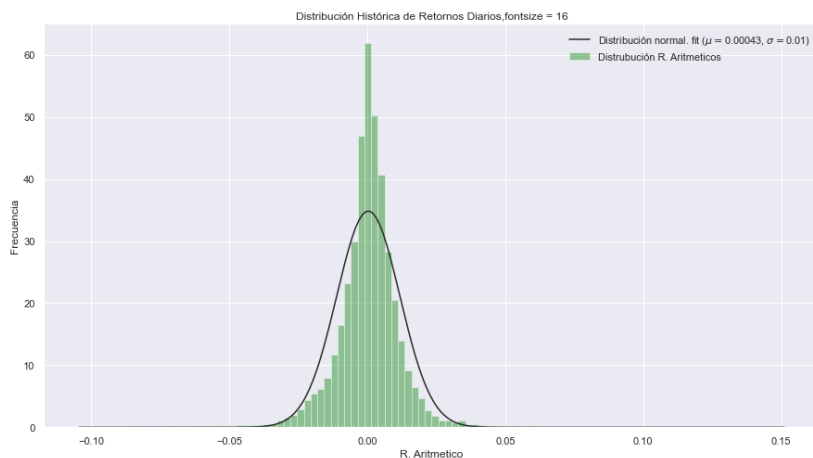


Tabla 3
Pseudocódigo Base B&S

```

Importar pandas as pd
Importar pandas_datareader.data as wb
from scipy.stats import norm

#datos Muestra
r = 0.0137
K = 280
T = 1
data = pd.DataFrame()
data = wb.DataReader('FB', 'yahoo', '2013-1-1')['Adj Close']
log_returns = np.log(1+data.pct_change())
S = data.iloc[-1]
Vol = log_returns.std()*252**0.5
def d1(S, K, r, Vol, T):
    return (np.log(S/K)+(r+(Vol**2)/2)*T)/(Vol * np.sqrt(T))
def d2(S, K, r, Vol, T):
    return (np.log(S/K)+(r-(Vol**2)/2)*T)/(Vol * np.sqrt(T))
def BSCall(S, K, r, Vol, T):
    d_uno = d1(S, K, r, Vol, T)
    d_dos = d2(S, K, r, Vol, T)
    return (S*norm.cdf(d_uno)) - (K*np.exp(-r*T)*norm.cdf(d_dos))
def BSPut(S, K, r, Vol, T):
    d_uno = d1(S, K, r, Vol, T)
    d_dos = d1(S, K, r, Vol, T)
    return (K*np.exp(-r*T)*norm.cdf(-d_dos)) - (S*norm.cdf(-d_uno))
print("\nPrecio de la Call : \n", BSCall(S, K, r, Vol, T), "\n")
print("\nPrecio de la Put : \n", BSPut(S, K, r, Vol, T), "\n")

```

Fuente: Pinance con Python.

Figura 2

Corrida el Código Table 3 Método B&S

```
Precio de la Call:  
30.374377965635787
```

```
Precio de la Put:  
43.34444220558933
```

Fuente: Pinance con Python.

Tabla 3

Pseudocódigo Base B&S mediante Feyman-Kac

```
def X_T(r, S0, sigma, T, n):  
    dt = T / n  
    X = S0  
    for i in range(n):  
        dx = r*X*dt + sigma*X*np.random.normal(0, np.sqrt(dt))  
        X = X + dx  
    return X  
  
ave = 0  
N = 1000  
for i in range(N):  
    ave += np.max([X_T(r, S, sigma, 10, 1000) - K, 0])  
print(ave*np.exp(-r*3) / N)
```

Fuente: Pinance con Python.

Tabla 3

Pseudocódigo las “Cinco Griegas” de las Opciones

```
def BSMCallGreeks(S, K, r, Vol, T):  
    d_uno = d1(S, K, r, Vol, T)  
    d_dos = d2(S, K, r, Vol, T)  
    Delta = norm.cdf(d_uno)  
    Gamma = norm.pdf(d_uno)/(S*Vol*sqrt(T))  
    Theta = -(S*Vol*norm.pdf(d_uno))/(2*sqrt(T) - r*K*exp(-r*T)*norm.cdf(d_dos))  
    Vega = S*sqrt(T)*norm.pdf(d_uno)  
    Rho = K*T*exp(-r*T)*norm.cdf(d_dos)  
    return Delta, Gamma, Theta, Vega, Rho
```

Fuente: Generado con Syder 4: Python, Python para Finance.

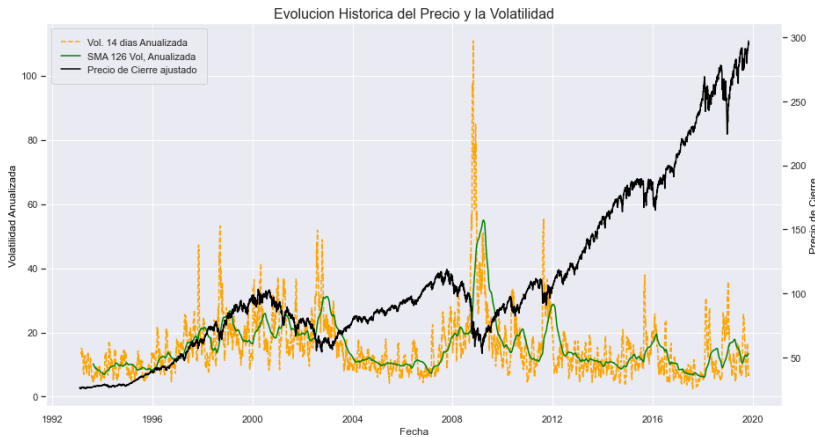
Figura 3

Las “Cinco Griegas” de las Opciones

```
Put  
Delta = [0.31024951]  
  
Gamma  
Symbols  
FB      0.002673  
dtype: float64  
  
Vega  
Symbols  
FB      97.260437  
Name: 2020-11-25 00:00:00  
  
Theta  
Symbols  
FB      -20.2859  
dtype: float64  
  
Rho  
[-120.3447956]
```

Fuente: Pinance con Python.

Figura 4
Retornos históricos



Fuente: Generado con Syder 4: Python, Python para Finance.

Conclusiones y discusión

Mediante el uso de la resolución tradicional y su resolución mediante la fórmula de Feynman-Kac, se logró adaptar del modelo de Black-Scholes, mediante un código implementado funcional hacia el pronóstico financiero experimental en términos de precios de opciones (retomado de artículos y portales en la web del tema). Los resultados arrojados, en comparación con los conjuntos de datos reales mediante diferentes métodos de solución para el mercado de acciones y opciones, son relativamente confiables, apoyados en el valor de las opciones, la volatilidad histórica (mediante método tradicional de B&S y formato empleando F&K), y finalmente rescatando resultados importantes como las “Cinco Griegas” y características de volatilidad histórica.

Referencias bibliográficas

- Black, F. y Scholes, M. (2019). The pricing of options and corporate liabilities. En *World Scientific Reference on Contingent Claims Analysis in Corporate Finance: Volume I: Foundations of CCA and Equity Valuation* (pp. 3-21).
- Braumann, C. A. (2019). *Introduction to stochastic differential equations with applications to modelling in biology and finance*. John Wiley & Sons.
- Buchanan, J. R. (2012). *Undergraduate Introduction to Financial Mathematics*, An. World Scientific Publishing Company.
- Cuesta Yustas, G. (2014). Introducción a los modelos de volatilidad estocástica. (Tesis de Grado).
- Daly, K. (2008). Financial volatility: Issues and measuring techniques. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(11), 2377-2393.
- Del Moral, P. (2004). *Feynman-Kac Formulae: Genealogical and Interacting Particle Systems with Applications*. 100(472). doi: 10.1198/jasa.2005.s52.
- Dicle, M. F. (2017). Options: Pricing, usage and the Greeks. *Advances in Financial Education, Forthcoming*.
- Doob, J. L. (1990). *Stochastic Processes*. 1st. Wiley Classics Library.
- Dothan, M. (2008). Efficiency and arbitrage in financial markets. *International Research Journal of Finance and Economics*, 19(19), 102-06.
- Evans, L. C. (2012). *An introduction to stochastic differential equations*, Vol. 82. American Mathematical Soc.
- Gaviño-Nava, E.; Mederos, B. & Mejía, J. (2020). *Stochastic Differential Equations and Black_Scholes Model Finance*. *AVANZA*, X, 1-17.
- Gihman, I. I. y Skorohod, A. V. (1979). Martingales and Stochastic Integrals. *The Theory of Stochastic Processes*, III(232). doi: 10.1007/978-1-4615-8065-2.
- Hull, J., Treepongkaruna, S., Colwell, D., Heaney, R. & Pitt, D. (2013). *Fundamentals of futures and options markets*. Pearson Higher Education AU.
- Ma, Y. y Li, W. (2020). Application and research of fractional differential equations in dynamic analysis of supply chain financial chaotic system. *Chaos, Solitons & Fractals*, 130, 109417.
- Oksendal, B. (2013). *Stochastic differential equations: an introduction with applications*. Springer Science & Business Media.
- Python for Finance (2021). [Página web]. Plataforma que contiene códigos de implementación en Python para Finanzas y Recursos Financieros. <https://www.youtube.com/hashtag/pythonforfinance>

Schädler, T. (2021). Dynamic instabilities induced by irrational behavior in financial markets: causes and consequences for risk assessment.

Yahoo Finance (2021). Stock Market Live, Quotes, Business & Finance News.

CAPÍTULO 11

EL MERCADO DE DERIVADOS CLIMÁTICOS: APLICACIÓN EN LA AGRICULTURA DE MÉXICO

ABRAHAM ALVA VÁZQUEZ
GUILLERMO SIERRA JUÁREZ

Introducción

El mercado de derivados climáticos es relativamente reciente comparado con su contraparte de los derivados financieros. Las primeras operaciones realizadas en el mercado de derivados climáticos tuvieron lugar en Estados Unidos entre los años de 1996 y 1997 (Jewson, 2005). El mercado cobró importancia con el fenómeno de El Niño del invierno de 1997-1998, el cual tuvo mucha publicidad dentro de la prensa americana, incluso varias compañías decidieron cubrirse contra el riesgo climático (Alaton, Djehiche y Stillberger, 2002).

El primer mercado organizado donde los derivados climáticos pudieron ser negociados fue el Chicago Mercantile Exchange (CME). El CME ofrece contratos de futuros y de opciones con periodos mensuales y de temporada basados en índices de temperatura, lloviznas, nevadas o huracanes en varias ciudades de Estados Unidos, Canadá, Europa, Asia del Pacífico y Australia (Myers, 2007). El comercio de los derivados climáticos ha ayudado a diferentes compañías a disminuir su riesgo dentro del mercado ante la presencia de un “mal” clima.

Por este motivo, en este trabajo nos centramos en los derivados climáticos basados en índices de temperatura del mar, ya que se tiene la hipótesis de que un modelo de derivado climático con una estructura de

movimiento browniano fraccional se ajusta mejor a la realidad y permite generar cobertura contra riesgos climáticos ocasionados por las anomalías que se presentan en la temperatura del mar del Pacífico, como, por ejemplo, el fenómeno de El Niño.

Se propone un modelo de la dinámica de la evolución de la temperatura del mar dado por un proceso de Ornstein-Uhlenbeck derivado de un movimiento browniano fraccional (MBF) y se espera encontrar el precio de futuros climáticos en los que la temperatura del mar sea el subyacente, y así plantear un sistema de cobertura. Además, el modelo será aplicable a un caso práctico en México, particularmente a la producción del maíz de grano.

1. Movimiento browniano fraccional (MBF)

En 1968, Mandelbrot y Van Nes mostraron por primera vez el movimiento browniano fraccional. Un MBF es un proceso estocástico gaussiano en el que se pueden observar dependencias o persistencias a largo plazo, además de ser un proceso con autosimilaridad. Un MBF posee un parámetro en particular, el llamado parámetro Hurst, el cual se encuentra entre cero y uno. Dentro de este intervalo del parámetro Hurst, el proceso muestra diferentes formas de correlación inter-temporal, en particular para el caso de independencia de las series de tiempo. De esta forma, se observa que el MBF es solo una extensión del movimiento browniano clásico.

En este capítulo tomamos como base el trabajo de Rostek (2009) para estudiar el MBF, ya que usaremos esta idea para determinar el precio de la opción climática usando como índice la temperatura del mar.

1.1. El parámetro Hurst

El parámetro de Hurst está definido dentro del intervalo $H \in [0,1]$ y considera a las series de tiempo en tres grupos (Rostek, 2009).

Si $H = \frac{1}{2}$ los procesos siguen un proceso aleatorio normal independiente, de esta forma los eventos presentes no influyen en el futuro.

Si $0 \leq H < \frac{1}{2}$ se dice que las series de tiempo exhiben un comportamiento antipersistente, posiblemente similar a un proceso de reversión a la media, el cual asume que el sistema bajo estudio tiene media estable.

Si $\frac{1}{2} < H \leq 1$ se dice que las series de tiempo exhiben un comportamiento persistente, es decir, están caracterizadas por efectos de memoria a largo plazo.

1.2. Definición de movimiento browniano fraccional

Rostek (2009) define al MBF como un movimiento promedio de incrementos brownianos, el cual depende del parámetro Hurst H de la forma:

$$B_0^H(\omega) = 0 \quad \forall \omega \in \Omega \quad (1.1)$$

$$B_t^H(\omega) = c_H \left[\int_{\mathbb{R}} \left((t-s)^{H-\frac{1}{2}} - (-s)^{H-\frac{1}{2}} \right) dB_s(\omega) \right] \quad (1.2)$$

Para $t > 0$, B_t^H puede reescribirse como:

$$B_t^H(\omega) = c_H \left[\int_{-\infty}^0 \left((t-s)^{H-\frac{1}{2}} - (-s)^{H-\frac{1}{2}} \right) dB_s + \int_0^t (t-s)^{H-\frac{1}{2}} dB_s \right] \quad (1.3)$$

Donde $0 < H < 1$, $\{B_t^H, t \in \mathbb{R}\}$ es un proceso estocástico con MBF, $\{B_s, s \in \mathbb{R}\}$ es un movimiento browniano a dos lados y

$$c_H = \sqrt{\frac{2H\Gamma(\frac{3}{2}-H)}{\Gamma(\frac{1}{2}+H)\Gamma(2-2H)}}$$

es una constante de normalización.

1.2.1. Propiedades del MBF

Al realizar algunas trayectorias del MBF (ver figura 1.1) se puede notar que cuanto mayor es el parámetro Hurst observamos que las trayectorias se suavizan, pero también se alejan bastante de la media cero.

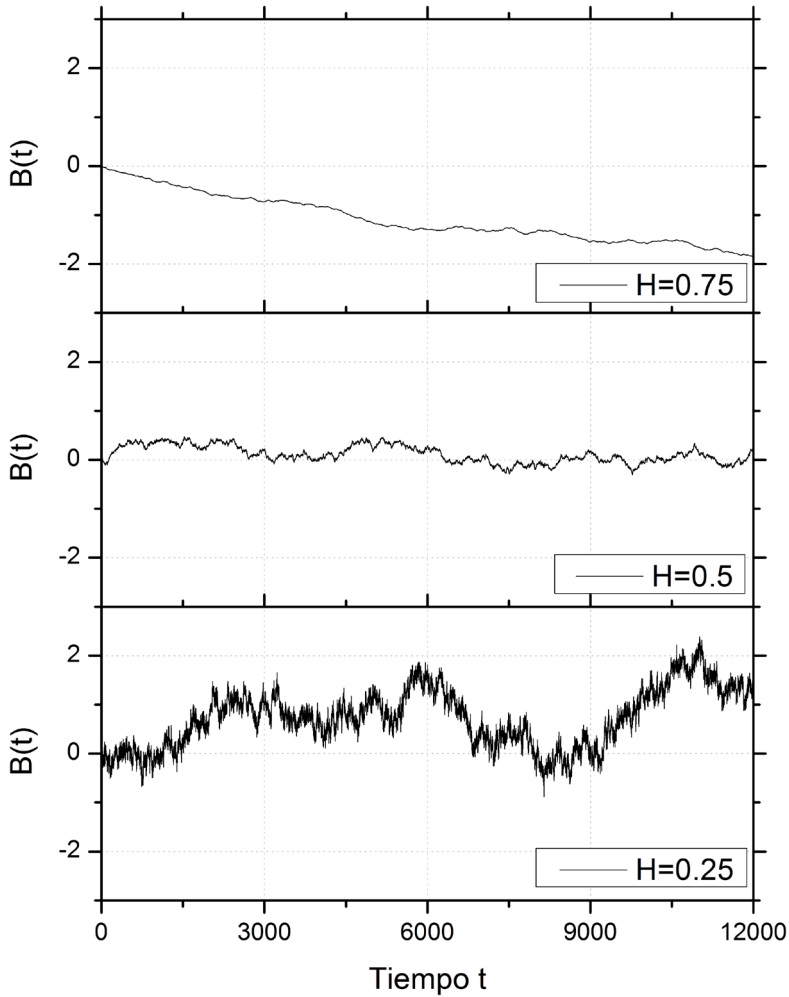
1.3. Proceso de Ornstein-Uhlenbeck y MBF

Debido a su gran aplicación en las finanzas en temas analizados, como el rendimiento de activos o en la valuación de opciones, el MBF es de gran utilidad en esas áreas. Por esta razón, el uso del MBF se ha sugerido para la modelación, por ejemplo, de las variaciones de tasas de interés en algunos modelos de bonos. Aunque no se conoce ningún estudio en el mercado de bonos, sí se ha utilizado el proceso OU fraccional para estudiar la dinámica de la temperatura y de esta manera proponer una valuación de derivados climáticos utilizando una ecuación diferencial estocástica como la propuesta por Brody (2001), la cual es de la forma

$$dX_t = \theta(\mu_t - X_t)dt + \sigma_t dB_t^H \quad (1.4)$$

Figura 1.1

Trayectorias de mbf para los parámetros Hurst,
 $H = 0.75, H = 0.5, H = 0.25$



En este proceso, la temperatura X_t sigue un proceso de reversión a la media μ_t con velocidad θ_t y volatilidad σ_t , cuya solución es

$$X_t = X_0 e^{-\theta t} + \mu_t (1 - e^{-\theta t}) + \int_s^t \sigma_s e^{\theta(s-t)} dB_s^H \quad (1.5)$$

En este trabajo estamos motivados a sugerir un proceso de OU fraccional para analizar la dinámica de la temperatura del mar como un activo financiero; para esto, posteriormente, realizamos un estudio para calcular el precio de un futuro climático que utiliza como activo la temperatura del mar usando un proceso de OU fraccional, como lo sugiere Brody (2002).

2. Derivados climáticos

La protección contra eventos climáticos regularmente lo han ofrecido las compañías aseguradoras, sin embargo, debido a que presentan ciertas limitaciones al ejercer el contrato, el mercado de derivados ha tomado lugar en las últimas décadas. Precisamente el mercado de los derivados climáticos apareció primero en la industria energética de Estados Unidos entre los años 1996 y 1997. A partir de entonces este mercado obtuvo un gran impulso y se ha expandido en algunos países de Europa y Asia Oriental, debido a que la propuesta de usar derivados climáticos ha permitido que los empresarios y otras organizaciones puedan asegurarse contra las fluctuaciones del clima.

Desafortunadamente, aún no existe un mercado de derivados climáticos en América Latina, aunque en México se han dado los primeros pasos para el desarrollo de este tipo de instrumentos, ya que a partir de 2012 se dio el lanzamiento del primer mercado de futuros de maíz amarillo en el MexDer (Mercado Mexicano de Derivados).

2.1. El mercado de derivados climáticos

La primera negociación realizada en el mercado de derivados climáticos tomó lugar en Estados Unidos entre los años 1996 y 1997 (Jewson, 2005). Después de que el mercado de los derivados climáticos se expandiese rápidamente, los contratos empezaron a ser negociados en el mercado *over-the-counter* (OTC) como contratos negociados individualmente. En

el mercado OTC estos contratos fueron manejados primero por las compañías del sector energético. El primer mercado organizado donde los derivados climáticos pudieron ser negociados fue el Chicago Mercantile Exchange (CME), en donde se ofrecen contratos de futuros y de opciones con periodos mensuales y de temporada basados en índices de temperatura, lloviznas, nevadas o huracanes en varias ciudades de Estados Unidos, Canadá, Europa, Asia del Pacífico y Australia.

Los derivados climáticos son contratos financieros con precios que dependen del clima de alguna forma. Las variables climáticas fundamentales pueden ser, por ejemplo, la temperatura, la humedad, la lluvia o la nieve. Estos contratos son designados, regularmente, a ayudar a las compañías a asegurarse contra eventos climáticos *no-catastróficos*. En las fluctuaciones climáticas no-catastróficas se incluyen los periodos de calor y de frío, los periodos de lluvia y sequías, los periodos de viento, etc. El cubrirse usando derivados climáticos puede resultar atractivo para diferentes empresarios, debido a que estos contratos reducen significativamente año con año la volatilidad de sus utilidades.

Si bien los derivados climáticos actualmente no cubren riesgos catastróficos, sí es posible adaptar este tipo de contratos para cubrirse contra riesgos catastróficos utilizando otro tipo de variables. Esto nos motiva a utilizar como índice la temperatura del mar, debido a que se ha encontrado que los cambios anómalos en la temperatura de la superficie del mar generan catástrofes económicas, como la ocasionada por el fenómeno de El Niño de 1997-1998, el cual fue uno de los eventos más fuertes que se han registrado. Este fenómeno tuvo mucha publicidad en Estados Unidos, ocasionando que muchas de las compañías decidieran entonces cubrirse contra el riesgo climático.

2.2. Los derivados de temperatura

En el mercado organizado se ofrecen negociaciones de derivados de temperatura en contratos futuros y opciones usando índices de temperatura medidos en diferentes partes del mundo, como Estados Unidos, Canadá, Australia, Japón, y en algunos países de Europa.

Fuera de los mercados organizados como el CME existe un número de diferentes contratos negociados en el mercado OTC. Un tipo común de estos contratos son las opciones climáticas, las cuales usan como principales índices base los llamados índices *degree-days* (DD), los cuales fueron creados por la industria energética, y están designados a correlacionar la demanda doméstica del calor y del frío. Algunos índices usados comúnmente son los *heating degree-days* y los *cooling degree-days*.

En invierno, los *heating degree-days* (HDDs) son usados para medir la demanda de calor, y así poder medir cómo es el frío en esa temporada (cuanto más frío haya, mayor es el número de HDDs). En verano, los *cooling degree-days* (CDDs) son usados para medir la demanda de energía usada para enfriar y así poder medir cómo es el calor en esa temporada (cuanto más calor haya, mayor es el número de CDDs). La definición usada dentro del mercado climático es que el número de HDDs o CDDs sobre un día en particular está definido como:

$$HDD_i = \text{máx}(T_0 - T_i, 0) \quad (2.1)$$

$$CDD_i = \text{máx}(T_i - T_0, 0) \quad (2.2)$$

donde HDD_i y CDD_i son el número de HDDs y CDDs respectivamente para el día i , T_0 es una temperatura de referencia y T_i es el promedio de la temperatura dada una estación climática específica para el día i , la cual se define como:

$$T_i = \frac{T_i^{\max} + T_i^{\min}}{2} \quad (2.3)$$

donde $T_i^{\max}$ y $T_i^{\min}$ denotan la temperatura máxima y mínima medidas en el día i (para este trabajo la temperatura se tomará en grados Celsius).

Un índice de H_n de HDDs en periodos de n días está usualmente definido como la suma de los HDD_i de todos los días del periodo, es decir:

$$H_n = \sum_{i=0}^n HDD_i \quad (2.4)$$

Similar a los HDDs, el índice C_n de CDDs en periodo de n días está definido como la suma de los CDD_i de todos los días del periodo, es decir:

$$C_n = \sum_{i=0}^n CDD_i \quad (2.5)$$

Como se puede observar, el número de HDDs o de CDDs para un día específico es el número de grados que la temperatura se desvía a partir de un nivel de referencia. En Estados Unidos, donde la temperatura es medida en Fahrenheit, la temperatura de referencia T_0 usual es de 65 °F (18.33 °C), mientras que en otros países, donde la temperatura es medida en Celsius, la temperatura de referencia usual es de 18 °C (64.4 °F). La razón es que si la temperatura está por debajo de 18 °C las personas tenderán a usar más energía para calentar sus hogares, mientras que si la temperatura está por encima de los 18 °C las personas empezarán a encender su aire acondicionado para enfriarse.

De este modo, por ejemplo, el comprador de una opción call HDD paga al vendedor una prima al inicio del contrato; si al retorno el número de HDDs para el periodo del contrato es superior al nivel de ejercicio pre-determinado, el comprador recibirá un pago. El tamaño del pago es determinado por el nivel de ejercicio y el nominal o *tick size*. El nominal o *tick size* es la cantidad de dinero que el poseedor o comprador del call recibe por cada *degree-day* que se encuentre por encima del nivel de ejercicio durante el periodo del contrato.

Para encontrar la fórmula del precio de un futuro asumiendo una tasa de interés constante r , T_0 denotará la temperatura de referencia y α es un valor nominal. Si el periodo del contrato consiste en n días y usando la definición de la ecuación (2.4), podemos escribir el precio de un futuro HDD (F_H) como:

$$F_H = \alpha E^{\mathbb{Q}}[\text{máx}\{T_0 - T_i, 0\}|\mathcal{F}] \quad (2.6)$$

Donde $\mathcal{F}$ es el proceso estocástico adaptado a F_H con una medida martingala $\mathbb{Q}$. (Benth, Härdle y López, 2009).

La fórmula (2.6) señala que es necesario determinar las medidas equivalentes de martingala $\mathbb{Q}$ para determinar los precios de futuros. Con este fin, se aplica el teorema de Girsanov para los modelos con movimiento browniano fraccional usado como ruido.

3. Dinámica de la temperatura del mar

En este trabajo nos enfocamos en tomar como variable fundamental la temperatura del mar de las costas del Pacífico mexicano con el fin de proponer un modelo estocástico con MBF para encontrar el precio de contratos de futuros para la cobertura contra el riesgo climático ocasionado por las anomalías que se presentan en la temperatura del mar, utilizando un proceso de Ornstein-Uhlenbeck (OU) fraccional, y de esta forma proponer una valuación de derivados de temperatura utilizando la ecuación diferencial estocástica (1.4).

3.1. Un modelo para la temperatura del mar

La ecuación (1.4) puede ser redefinida de la siguiente forma:

$$dX_t = \theta(X_t^m - X_t)dt + \sigma_t dB_t^H \quad (3.1)$$

donde suponemos que θ es constante ($\theta \in \mathbb{R}$) y

$$X_t^m = A + Bt + C\text{sen}(\omega t + \varphi) \quad (3.2)$$

siendo A, B, C y φ determinados de acuerdo a la curva que mejor se ajuste a los datos.

El problema con la ecuación (3.1) es que, de hecho, a la larga no revierte a la media X_t^m . Por lo que para obtener un proceso que realmente revierta a la media (3.2) tenemos que agregar el término

$$\frac{dX_t^m}{dt} = B + \omega C \cos(\omega t + \varphi) \quad (3.3)$$

dentro del coeficiente del tiempo en (3.1). Como la temperatura media X_t^m no es constante, la ecuación (3.3) ajustaría el coeficiente del tiempo, tal que la solución de la ecuación diferencial estocástica (3.1) obtenga a la larga media X_t^m (Alaton, Djehiche y Stillberger, 2002).

Por lo tanto, usando un MBF e iniciando en $X_s = x$ se consigue de este modo un modelo para la dinámica de la temperatura del mar de la forma:

$$dX_t = \left\{ \frac{dX_t^m}{dt} + \theta(X_t^m - X_t) \right\} dt + \sigma_t dB_t^H \quad (3.4)$$

cuya solución es:

$$X_t = (x - X_s^m)e^{-\theta(t-s)} + X_t^m + \int_s^t e^{-\theta(t-u)} \sigma_u dB_u^H \quad (3.5)$$

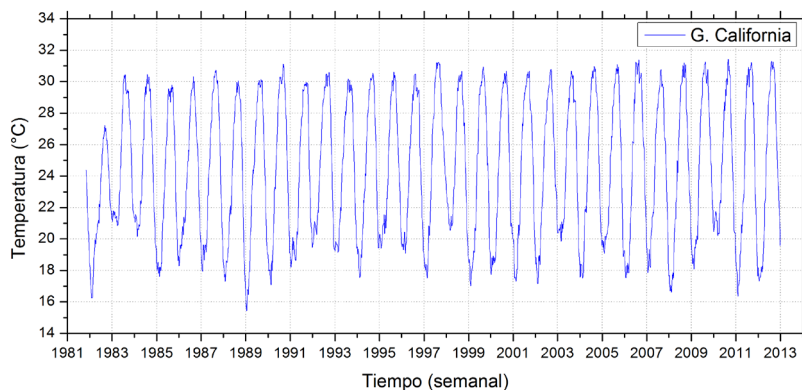
Donde el modelo (3.4 y 3.5) tienen volatilidad σ_t y una rapidez θ de reversión a la media (Alaton, Djehiche y Stillberger, 2002).

3.2. Analizando los datos en el modelo

Para realizar el análisis y probar los datos de la temperatura del mar en el modelo, se cuenta con una base de datos desde el 1 de noviembre de 1981 al 30 de diciembre de 2012 para las regiones de Ensenada (117.5W-31.5N), Isla Cedros (115.5W-27.5N), golfo de California (110.5W-26.5N), cabo San Lucas (109.5W-22.5N), Puerto Vallarta (105.5W-20.5N), Acapulco (100.5W-16.5N) y golfo de Tehuantepec (94.5W-15.5N). La estructura de los datos consiste de temperaturas promedio semanales, las cuales fueron medidas de acuerdo al análisis hecho por Reynolds, Rayner, Smith, Stokes y Wang (2002). La fuente de los datos fue obtenida de la Biblioteca de Datos Climáticos (Climate Data Library) de la Universidad de Columbia (IRI/LDEO, 2013).

En la figura 3.1 se observar que hay una fuerte variación periódica en la temperatura. De este modo, se aprecia que es posible modelar la dependencia periódica utilizando la ecuación (3.2) y determinar la temperatura del mar promedio X_t^m en el tiempo t .

Figura 3.1
Temperaturas promedio semanal de la región
del golfo de California, 1981-2012

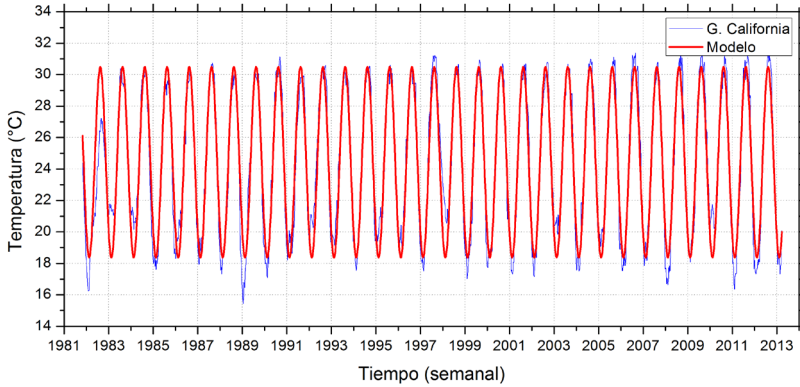


Fuente: Datos obtenidos de IRI/LDEO (2013) y Reynolds, Rayner, Smith, Stokes y Wang (2002).

Probando los datos de las temperaturas de las diferentes regiones en la ecuación (3.2) se estiman los valores numéricos de las constantes A , B , C y φ utilizando el método de mínimos cuadrados. De esta manera, se pueden obtener las funciones X_t^m de la temperatura promedio para cada región. Por ejemplo, para el caso del golfo de California se obtuvo la Gráfica que se muestra en la figura 3.2.

Figura 3.2

Temperatura promedio (3.2) y datos de las temperaturas de la región del golfo de California, 1981-2012



Por otro lado, una observación en la serie de los datos revela que la variación cuadrática $\sigma_t^2 \in \mathbb{R}_+$ de la temperatura varía a través de los diferentes meses del año, pero esta también se acerca a una constante dentro de cada mes. Por ejemplo, durante el verano y el invierno la variación cuadrática para las diferentes regiones se muestra más alta que durante el resto del año. Por lo tanto, se hace la suposición de que σ_t sea una función constante por segmentos, es decir, que tendrá un valor constante para cada mes. Así σ_t queda especificada como:

$$\sigma_t = \begin{cases} \sigma_1, & \text{durante Enero} \\ \sigma_2, & \text{durante Febrero} \\ \vdots & \\ \sigma_{12}, & \text{durante Diciembre} \end{cases}$$

donde $\{\sigma_i\}_{i=1}^{12}$ son constantes positivas (Alaton, Djehiche y Stillberger, 2002).

Para determinar el modelo de temperatura se estiman, a partir de las temperaturas observadas en las diferentes regiones, las volatilidades σ , la cuales oscilan diferente para cada región, esto se puede atribuir probablemente a las anomalías de la temperatura del mar, como El Niño, ya que

en cada región afecta en diferente época del año, por lo cual para algunos meses se observan variaciones altas en las estimaciones de σ .

Tabla 3.1

Valores de σ de las diferentes regiones de estudio del Pacífico mexicano

<i>Mes</i>	<i>ENS</i>	<i>IC</i>	<i>GC</i>	<i>CSL</i>	<i>PV</i>	<i>AC</i>	<i>GT</i>
Enero	0.30	0.35	0.45	0.43	0.44	0.30	0.73
Febrero	0.36	0.36	0.51	0.40	0.44	0.33	0.73
Marzo	0.46	0.48	0.68	0.49	0.53	0.48	0.67
Abril	0.51	0.48	0.69	0.47	0.52	0.56	0.55
Mayo	0.42	0.46	0.71	0.54	0.65	0.57	0.56
Junio	0.43	0.56	0.66	0.72	0.69	0.66	0.47
Julio	0.48	0.65	0.50	0.75	0.61	0.50	0.47
Agosto	0.44	0.58	0.52	0.50	0.56	0.45	0.40
Septiembre	0.50	0.65	0.48	0.57	0.52	0.43	0.43
Octubre	0.49	0.52	0.73	0.50	0.50	0.41	0.67
Noviembre	0.51	0.46	0.83	0.53	0.49	0.36	0.70
Diciembre	0.45	0.48	0.68	0.55	0.51	0.36	0.62

Donde ENS = Ensenada, IC = Isla Cedros, GC = Golfo de California, CSL = Cabo San Lucas, PV = Puerto Vallarta, AC = Acapulco y GT = Golfo de Tehuantepec.

Con los valores de σ de la Tabla 3.1 se obtienen los parámetros de reversión a la media de las diferentes regiones de estudio. Estos parámetros se encuentran listados en la Tabla 3.2, en la cual se puede observar que la rapidez con la que regresan a la media es diferente para cada región; esto se atribuye (de nuevo) a la anomalías que se presentan en la temperatura del mar, como al fenómeno de El Niño, ya que para las regiones que son más afectadas por el fenómeno, el parámetro de reversión resulta ser más pequeño que en las regiones donde El Niño no afecta de la misma forma.

Tabla 3.2

Valores numéricos estimados de los parámetros de reversión a la media para las diferentes regiones de estudio

<i>Región</i>	<i>Parámetro α</i>
Ensenada	0.106
Isla Cedros	0.065
G. California	0.081
Cabo San Lucas	0.115
Pto. Vallarta	0.148
Acapulco	0.247
G. Tehuantepec	0.295

Usando la ecuación mostrada en Alaton, Djehiche y Stillberger (2002).

El que una señal (en este caso de temperatura) presente un valor pequeño en su reversión a la media, significa que le tomará un “mayor tiempo” en volver a su nivel de equilibrio. En este caso, para las regiones que se ven más afectadas por el fenómeno de El Niño, en su señal de temperatura presentan un mayor ruido, lo cual ocasiona que le tome “mayor tiempo” a la señal en volver a su nivel de equilibrio y, por consiguiente, obtener un valor pequeño en su parámetro de reversión a la media.

3.3. Simulación de trayectorias de la temperatura del mar

Habiendo estimado todos los parámetros desconocidos del modelo de temperatura (3.5), podemos proceder a simular las trayectorias del proceso de Ornstein-Uhlenbeck fraccional haciendo uso del método de simulación Monte Carlo. Para llevar a cabo la simulación del proceso, se necesita encontrar a partir de (3.5) una ecuación en tiempo discreto. Resolviendo la integral en (3.5) entre s y t , con $t > s$ se obtiene lo siguiente (Dagpunar, 2007):

$$X_t = (X_s - X_s^m)e^{-a(t-s)} + X_t^m - \frac{\lambda\sigma_\mu}{a}(1 - e^{-a(t-s)}) + \sigma_\mu \sqrt{\frac{1 - e^{-2a(t-s)}}{2a}} B_{(s,t)}^H \quad (3.6)$$

donde $B_{(s,t)}^H$ son valores aleatorios obtenidos de un MBF. Finalmente, para simular un proceso de OU fraccional en el intervalo Δt , se obtiene que:

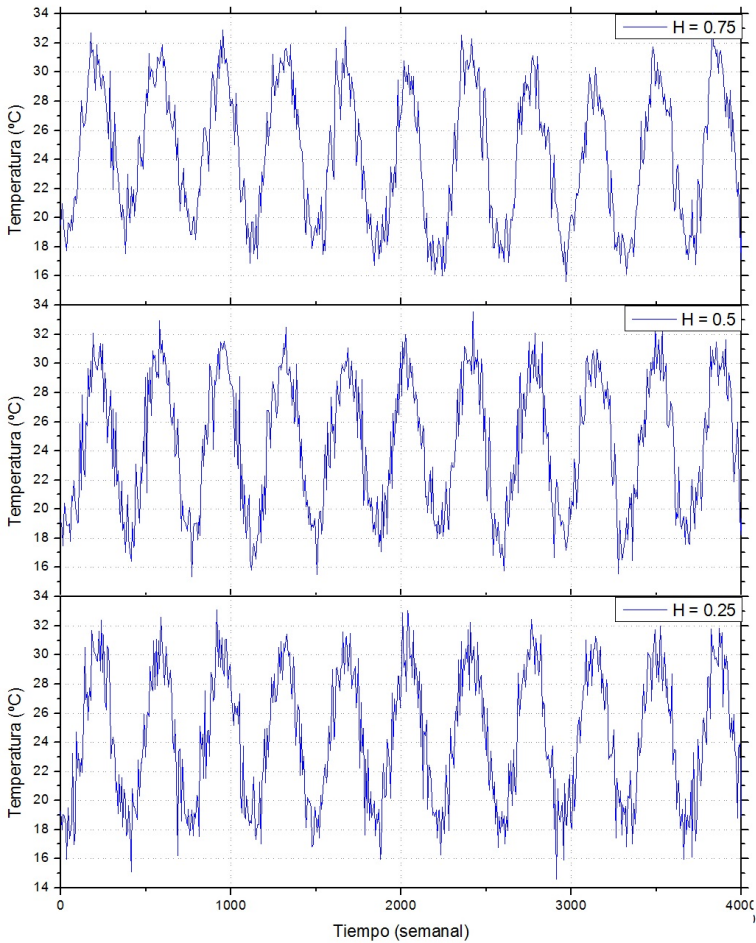
$$X_{t+1} = (X_t - X_t^m)e^{-a\Delta t} + X_{t+1}^m - \frac{\lambda\sigma_\mu}{a}(1 - e^{-a\Delta t}) + \sigma_\mu \sqrt{\frac{1 - e^{-2a\Delta t}}{2a}} \epsilon_t \quad (3.7)$$

donde ϵ_t^H es un número procedente de una distribución $N(0,1)$, los cuales fueron generados a partir de un proceso con MBF.

Por lo tanto, haciendo uso de la ecuación (3.7), en la figura 3.6 se muestran las posibles trayectorias de la temperatura para la región del golfo de California.

Figura 3.3

Posibles trayectorias de un proceso de Ornstein-Uhlenbeck fraccional de la región del Golfo de California que serán usadas para modelar la temperatura del mar



Comparando esta simulación con las temperaturas reales graficadas en la figura 3.1, se puede concluir (al menos visualmente) que el modelo de la temperatura (3.4 y 3.5) tiene las mismas propiedades que las temperaturas observadas. Sin embargo, las trayectorias simuladas presentan un poco

de más ruido que las temperaturas observadas en la figura 3.1; esto puede ser debido a que (de acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 3.1) la estimación de σ resultó ser mayor que la que se presenta en la serie original. También hay que notar que la trayectoria simulada para un $H = 0.75$ se puede observar más suave que la trayectoria para un $H = 0.25$, lo cual nos hace pensar que esta simulación es más similar a la señal original.

4. El precio del derivado climático

El mercado para los derivados climáticos hasta el momento sigue siendo un mercado incompleto, y más aún en el mercado de los derivados en México. Se dice que el mercado de los derivados climáticos es un mercado incompleto debido a que la temperatura no es negociable, mucho menos, la temperatura del mar. Por lo tanto, se tiene que considerar un precio de riesgo de mercado para poder obtener un posible precio de un contrato derivado climático.

4.1. Riesgo de mercado

Como no existe un mercado de derivados climáticos donde se utilice como índice la temperatura del mar y del cual se puedan obtener los precios de dichos contratos, se asume por simplicidad que el precio de riesgo de mercado definido como λ es constante. Además, también se asume dar un activo libre de riesgo con tasa de interés constante r y un contrato que por cada grado Celsius paga una determinada cantidad monetaria (Alaton, Djehiche y Stillberger, 2002). Así, bajo una medida martingala Q , caracterizada por el precio de riesgo de mercado λ , el proceso para el precio, denotado por K_t , debe seguir la siguiente dinámica:

$$dX_t = \left\{ \frac{dX_t^m}{dt} + a(X_t^m - X_t) - \lambda\sigma_t \right\} dt + \sigma_t dB_t^H$$

donde $(B_t^H; t \geq 0)$ es un proceso estocástico de movimiento browniano fraccional. Así, el precio de un derivado esta expresado como un valor

esperado descontado bajo la medida martingala Q (Alaton, Djehiche y Stillberger, 2002). Para simular algunas trayectorias de la temperatura bajo un riesgo neutral en la medida Q , solo debemos agregar el término del precio de riesgo de mercado a las ecuaciones (3.6) y (3.7) para poder llevar a cabo la simulación del proceso. Bajo riesgo neutral en la medida Q , con $t > s$ podemos obtener una simulación de un proceso de Ornstein-Uhlenbeck (OU) usando la siguiente ecuación:

$$X_t = (X_s - X_s^m)e^{-a(t-s)} + X_t^m - \frac{\lambda\sigma_\mu}{a}(1 - e^{-a(t-s)}) + \sigma_\mu \sqrt{\frac{1 - e^{-2a(t-s)}}{2a}} B_{(s,t)}^H$$

donde $B_{(s,t)}^H$ son variables aleatorias independientes para intervalos discontinuos $\{(s, t)\}$. Y para simular un proceso de OU en el intervalo Δt , se obtiene que:

$$X_{t+1} = (X_t - X_t^m)e^{-a\Delta t} + X_{t+1}^m - \frac{\lambda\sigma_\mu}{a}(1 - e^{-a\Delta t}) + \sigma_\mu \sqrt{\frac{1 - e^{-2a\Delta t}}{2a}} \epsilon_t \quad (4.3)$$

donde ϵ_t es un número procedente de una distribución $N(0,1)$, los cuales pueden ser generados utilizando el método de Ziggurat, Marsaglia y Tsang (2000).

Para calcular el precio de algún contrato usando el método de simulación Monte Carlo, primero se debe encontrar el parámetro λ de acuerdo a las condiciones del mercado observando los precios de algunos contratos. Sin embargo, al no existir un mercado de derivados climáticos donde se utilice como índice la temperatura del mar, se puede asumir que el precio de riesgo de mercado λ es una cantidad constante de tal manera que se pueda obtener el precio de los diferentes futuros que se propongan de ejemplo.

4.2. Aplicación del modelo

La aplicación del modelo se centra particularmente en la producción de maíz de grano en México, debido a que la presencia económica de este producto es de gran importancia para el país. Además, también es uno de los productos para los cuales se ha observado una posible correlación con las anomalías de la temperatura del mar, en particular con el fenómeno de El Niño.

Como ya se mencionó, no existe un desarrollo completo en el mercado de derivados donde se utilice como índice la temperatura del mar. Para poder estimar el precio de un futuro climático para el caso de la producción de maíz, se necesitan tomar algunos supuestos para determinar (además del precio de mercado λ) un nivel de temperatura de referencia T_0 y un valor del nominal α .

4.2.1. Nivel de temperatura base

Al hacer uso como índice de la temperatura del mar, no contamos con un nivel de referencia fijo o usual; en principio, este parámetro puede ser acordado en el contrato, en el cual se puede establecer la temperatura base bajo la cual se resulta afectado y así obtener alguna cobertura contra las anomalías en la temperatura del mar.

Una propuesta distinta a la de acordar en el contrato la temperatura base, sería establecer como referencia una temperatura de 0.5 °C por mes. Por definición, el fenómeno de El Niño se presenta cuando la temperatura promedio de la superficie del mar se encuentra por encima o por debajo de 0.5 °C (Trenberth, 1997) durante por lo menos seis meses consecutivos, motivo por el cual el contrato futuro climático propuesto podría tener estas características y considerar un periodo de acumulación de temperaturas de por lo menos seis meses. De esta forma, se puede tomar la temperatura promedio del Pacífico mexicano y usar como índice CAT la acumulación de temperaturas promedio *mensuales* durante el periodo del contrato. Dichos índices los definiremos como HDM o CDM (*heating degree-month* o *cooling degree-month*, respectivamente).

Esta propuesta se debe a que no existe una temperatura homogénea en las diferentes regiones del Pacífico, lo cual no permite establecer una temperatura base de referencia por región, como sí ocurre en los derivados negociados en Estados Unidos, Europa y Japón, en los cuales se toman como referencia los 18 °C, ya que estos países se encuentran aproximadamente a la misma latitud. Otra justificación es que las variaciones de la temperatura del mar son más lentas que las variaciones de la temperatura ambiente (la temperatura del mar tarda un año en regresar al mismo nivel de temperatura; ver figura 3.1), por lo tanto, tomar la acumulación de temperaturas para un periodo de al menos seis meses podría mostrar de manera más clara las anomalías que se presenten en la temperatura del mar del Pacífico mexicano.

4.2.2. Estableciendo un valor nominal

El valor nominal α lo podemos definir como la cantidad de dinero que se recibe por cada *grado-month* (*HDM* o *CDM*) que se encuentre por encima o debajo de un nivel de ejercicio durante el periodo del contrato. Por esta razón, ante la falta de un mercado en el cual se pueda conocer un valor de nominal, se propone encontrar una estimación de este valor a partir de la correlación que existe entre las anomalías de la temperatura del mar y la producción agrícola.

El valor nominal propuesto se estima que la temperatura del mar aumentará debido a la presencia de alguna anomalía (por ejemplo, el fenómeno de El Niño) en 0.5 °C como mínimo para el periodo de un mes.

4.2.3. Especificaciones de los contratos

A partir de los valores de λ , α , y T_0 , podemos obtener el precio de un futuro climático para el caso particular de la producción agrícola mexicana. La Tabla 4.1 muestra algunas posibles especificaciones para un futuro *CDM* y un futuro *HDM* en los periodos de julio a diciembre y de enero a junio, respectivamente, ya que se considera que las anomalías en la temperatura del mar en dichos periodos afectan a la producción agrícola en México, los cuales concuerdan con la aparición de El Niño en el Pacífico mexicano.

Tabla 4.1

Posibles especificaciones de dos futuros climáticos CDM y HDM para la producción agrícola

Parámetro	Futuro I	Futuro II
Región	G. de California	G. de California
Índice	CDM	HDM
Período	Julio-Diciembre	Enero-Junio
Tasa libre de riesgo	r	r
Temperatura base	T_0	T_0
Nominal	α	α

4.2.4. Propuesta para calcular el precio del contrato futuro

Para determinar el precio de un futuro climático, se propone utilizar el método de simulación Monte Carlo usando valores numéricos aleatorios determinados a partir de un proceso de movimiento browniano fraccional, usando diferentes valores del parámetro H de Hurst. Podemos utilizar el método de simulación Monte Carlo para calcular numéricamente el valor esperado del precio del futuro. Una aproximación para calcular el valor esperado sería a partir de la siguiente ecuación:

$$E[g(X(t))] \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g(\bar{X}(t, \omega_i)) \quad (4.4)$$

donde $\bar{X}$ es la solución de alguna ecuación diferencial estocástica, g puede ser cualquier función y X es una aproximación de $\bar{X}$, la cual tiene que ser usada si la solución exacta de X no está disponible. La idea es simular tantas trayectorias del proceso utilizando el *promedio aritmético* para aproximarse al valor esperado. En este caso, $\bar{X}$ se obtiene a partir de la ecuación (4.3).

Por lo tanto, para el proceso estocástico X_t que se muestra en la ecuación (4.3), calculamos el precio de futuro *HDM* (F_{HDM}) de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
F_{HDM}(t) &= \alpha e^{-rt} E[\text{máx}\{T_i - T_0, 0\} | \mathcal{F}(t)] \\
&= \alpha e^{-rt} E[\text{máx}\{X_t - 0.5, 0\} | \mathcal{F}(t)] \\
&= \alpha e^{-rt} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{máx}\{X_{t_i} - 0.5, 0\} \right)
\end{aligned} \tag{4.5}$$

donde r se puede elegir como la tasa libre de riesgo. Para un CDM (F_{CDM}) se puede determinar de forma similar a (4.5)

Conclusiones

Se ha propuesto cómo determinar el precio de un contrato futuro de dos formas diferentes usando un modelo para entender la dinámica de la temperatura promedio mensual del mar, tomando como referencia estudios previos sobre derivados climáticos, en donde utilizan como índice fundamental la temperatura del ambiente. Se ha explicado por qué un proceso con reversión a la media y una combinación de comportamiento periódico y estocástico con movimiento browniano fraccional es adecuado; aunque este modelo de temperatura es una simplificación del mundo real, se puede observar que el modelo se ajusta en buena forma a los datos empíricos de la temperatura del mar.

Se propone en el futuro incluir en el modelo un mejor ajuste del ruido considerando una volatilidad estocástica o bien un análisis utilizando técnicas de *maching learning* y *deep learning* (en específico redes neuronales) de tal manera que se pueda encontrar un modelo que pueda describir de mejor forma la dinámica de la temperatura del mar y su correlación con la productividad agrícola.

También se han propuesto las características y especificaciones que puede tener un derivado climático, específicamente una opción climática, de tal manera que se pueda obtener cobertura contra la caída en la producción agrícola debida a las variaciones en temperatura del mar, como, por ejemplo, el fenómeno de El Niño.

Debido a que aún no existe un mercado de derivados donde se utilice como índice la temperatura del mar y su relación con la producción

agrícola, es difícil encontrar una mejor descripción para estimar el valor del precio de riesgo de mercado. Seguramente, con el desarrollo del mercado de derivados climáticos se podría incluir una mejor estimación de la dinámica para el precio de riesgo de mercado.

El considerar la existencia de derivados climáticos donde se utilice como índice fundamental la temperatura del mar ayudaría a que dichas anomalías, como la ocurrencia del fenómeno de El Niño, no solo se analicen como fenómenos que afectan a la temperatura del mar, sino también, como se ha mostrado en estudios previos para el caso de México, a la temperatura del ambiente (Magaña, 2004). Por esta razón, la existencia de contratos futuros climáticos mostrada en este trabajo puede ser de utilidad para encontrar cobertura contra un mal clima, debido a que las anomalías que se presentan en la temperatura del mar afectan al medio ambiente, cambiando el pronóstico sobre índices fundamentales, como el de la temperatura, la lluvia, la nieve, etcétera, los cuales, al verse afectados, repercuten de manera negativa en el precio de productos agrícolas.

Bibliografía

- Alaton, P., Djehiche, B. y Stillberger, D. (2002). On modeling and pricing weather derivatives, *Applied Mathematical Finance*, 9(1): 1-20.
- Bellini, F. (2005). *The weather derivatives market: Modelling and pricing temperature*, Tesis.
- Benth, F. E., Härdle, W. K. y López C., B. (2009). Pricing of Asian temperature risk, *SFB649 Working Paper*, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Dagpunar, J. S. (2007). *Simulation and Monte Carlo with applications in finance and MCMC*, John Wiley & Sons, Londres.
- IRI/LDEO (2013). Climate Data Library, *IGOSS nmc Reyn SmithOIv2 weekly sst*. [http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn SmithOIv2/.weekly/.sst/](http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn%20SmithOIv2/.weekly/.sst/)
- Jewson, S. (2004). Introduction to Weather Derivative Pricing, *The Journal of Alternative Investments*: 57-64.
- Jewson, S. y Brix, A. (2005). *Weather Derivative Valuation: The Meteorological, Statistical, Financial and Mathematical Foundations*, Cambridge University Press.
- Magaña R., V. (ed.) (2004). *Los Impactos de El Niño en México*, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Secretaría de Gobernación, 229 p.

- Marsaglia, G. y Tsang, W. W. (2000). The Ziggurat Method for Generating Random Variables, *Journal of Statistical Software*, 5(8).
- Myers, R. (2007). What Every CFO Needs to Know Now about Weather Risk Management, <http://www.cmegroup.com/trading/weather/>, CME Group.
- Reynolds, R. W., Rayner, N. A., Smith, T. M., Stokes, D. C. y Wang, W. (2002). An Improved in Situ and Satellite SST Analysis for Climate, *J. Climate*, 15: 1609-1625.
- Trenberth, K. E. (1997). The definition of El Niño, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78: 2771-2777.

CAPÍTULO 12

LOS MERCADOS BURSÁTILES DE LATINOAMÉRICA Y ESTADOS UNIDOS: UN ANÁLISIS GARCH MULTIVARIADO

ANTONIO RUIZ PORRAS
GUILLERMO SIERRA JUÁREZ
GUADALUPE NOEMÍ VILLASEÑOR ÁLVAREZ

1. Introducción

Un tema interesante dentro de la literatura moderna de economía y finanzas es el del contagio financiero. Resulta emocionante y de utilidad conocer las situaciones que provocan desequilibrio en un mercado y el efecto que se produce en el resto de los mercados del mundo. Especialmente es de interés para los especuladores, investigadores y los encargados de realizar la política económica.

Sin embargo, no es labor sencilla detectar la existencia del contagio. Autores como Uribe (2011) mencionan la categorización de este en dos clases, basado en sus perspectivas: el primer aspecto es por la fuerza de transmisión de los choques entre los mercados; el segundo es por cuáles son mecanismos que generan las transferencias de los choques.

El objetivo del presente trabajo es, mediante la utilización de las técnicas de series de tiempo, determinar la existencia de una integración entre un grupo de países latinoamericanos y Estados Unidos y de la posible reacción de contagio en momentos de crisis en los mercados bursátiles.

Este documento continúa con una línea de trabajos de investigación previos sobre el análisis de series económicas y financieras utilizando las pruebas de series de tiempo (Lorenzo-Valdés y Ruiz Porras, 2011; Lorenzo-Valdés y Ruiz Porras, 2012; Durán-Vázquez, Lorenzo-Valdés y Ruiz Porras, 2013; Ruíz-Porras y Anguiano-Pita, 2017).

El desarrollo del documento se presenta de la siguiente manera; para entender el contexto en el que se desenvuelve la situación analizada, se comenzará por abordar la globalización como un todo, desde la consideración de que solo es un fenómeno, hasta la teoría de desarrollo económico, a fin de comprender el contexto en el que se encuentran los países del estudio, en la sección II. En la sección III se resumen los conceptos básicos de crisis y contagio para, posteriormente, en la sección IV proceder a la metodología, proporcionando una breve descripción estadística del análisis de los datos; después se presentan el análisis econométrico y las gráficas de impulso-respuesta de las series bursátiles; finalizando en la sección V con los resultados y posteriormente las conclusiones.

2. Globalización financiera y relaciones económicas

La globalización ha sido abordada desde enfoques sociales, políticos, institucionales e incluso discursivos. La globalización, igualmente, ha sido interpretada desde perspectivas de análisis que se centran desde lo internacional hasta lo nacional y regional.

Las relaciones económicas internacionales son las interacciones organizadas, con objetivos claros, entre los diferentes actores existentes. Una combinación de relaciones de los agentes económicos internacionales de una nación con los demás agentes de las diferentes naciones en el mundo, caracterizadas por auscultar la optimización de recursos, elevar la productividad y competitividad mundial, reducir la pobreza y los costos, y lograr el crecimiento económico (Angarita-Calle, 2008).

El desarrollo de la globalización no solo afecta a los procesos productivos o supremacías nacionales (cuando los países insisten en que respeten y reconozcan la individualidad cultural de cada uno, sin embargo,

estos siguen con el traslado de bienes, servicios y tecnología modernos). También se observa que presenta efectos en los mercados financieros en todo el mundo.

La globalización financiera es un cambio que se ha venido gestando de manera progresiva desde la década de los ochenta (Villanueva, 2008), las inestabilidades financieras han constituido un fenómeno que ha ido afectando a numerosos países o regiones del mundo. Se trata del incremento de las relaciones globales por medio de los flujos transnacionales. Este desarrollo se ha dado por medio de los diferentes lazos que tienen los países con los mercados financieros internacionales, esto también es conocido como integración financiera.

El proceso de la integración financiera viene dado no solo por los factores anteriormente mencionados en la globalización, como la liberación financiera, sino también por los factores siguientes (Rodríguez, Urionabarrenetxea y San Martín, 2008):

- a. El avance de las tecnologías de la información y la comunicación: Los cuales permiten que la información, activos y demás productos sean trasladados de una manera veloz y a costos relativamente pequeños. Los sistemas de liquidación y compensación de operaciones se han estandarizado, provocando que las operaciones sean más rápidas.
- b. Nuevos instrumentos financieros: Los cuales hacen posible una mayor protección en contra de los riesgos a los que se expone el inversionista internacional, asimismo, hay mayor número de operaciones de arbitraje y especulación en el mundo.
- c. El aumento del patrimonio de los inversionistas en recursos financieros y en acceso a la información.

3. Crisis y contagio

En la era de la globalización han existido varias crisis financieras, en las cuales se ha notado una gran capacidad de expansión más allá de las fronteras geográficas; se tiene a la globalización como primer causante de esto, así como también a los contagios que se refieren a un movimiento

en común de los países en periodos de crisis y los cuales no pueden explicarse por las variables económicas fundamentales.

Esta difusión puede darse también por un comportamiento manada, el cual se considera racional hasta cierto punto, ya que los inversionistas no están motivados a conseguir información de primera mano, y deciden seguir estrategias de otros agentes con inversiones similares.

Según Rodríguez (2008), los inversionistas se encuentran más preocupados por el cambio en los sentimientos de mercado que en hacer una estimación de los rendimientos futuros de los activos. Esto hace de la especulación una práctica común entre los diferentes inversores. Pero esta práctica común se da, ya que al estar globalizado el mercado, no es tan sencillo conseguir información cercana y completa, y debido a eso es que el comportamiento aumenta. En la perspectiva de Rodríguez (2008), estos fallos ocurren debido al proceso de integración de los mercados financieros. Más aún, señala que los países que sufren las crisis son los que se abren a la globalización sin un grado de desarrollo económico y financiero adecuado.

Las crisis financieras tienen diferentes vías de difusión, estas vías son lo que comúnmente se designa como contagio. Parte de la especulación es causada por los rumores, si bien, según la teoría económica clásica es que las decisiones de inversión reflejan las expectativas de los inversionistas, formadas racionalmente, y que estas decisiones son tomadas y llevadas a cabo por la información disponible, la decisión debiera de ser eficiente. Pero en la realidad práctica no siempre sucede así, sino que las decisiones de inversión pueden ser conducidas por la psicología de grupo.

El efecto contagio puede considerarse como un incremento en la probabilidad de un ataque especulativo que puede ser sobre una divisa doméstica o activo que no proviene de los “fundamentales domésticos”, tales como el dinero y la producción, sino de la existencia de un ataque especulativo (no necesariamente exitoso) en alguna parte del mundo (Berdardi, 2005).

4. Metodología de análisis

Para analizar los datos inicialmente se utiliza la estadística descriptiva y a partir de las gráficas se obtiene una apreciación visual de los datos, ya que por este medio se puede observar la coherencia y relación de estos; por ejemplo, se pueden ver niveles de fluctuación, variaciones, crecimientos, disminuciones y demás.

Las pruebas aplicadas en el presente trabajo son las siguientes: pruebas de raíces unitarias, cambio estructural y modelos GARCH multivariados. El estudio utiliza información de las series históricas de los índices bursátiles de Estados Unidos y los siguientes países latinoamericanos: Brasil, México, Argentina, Colombia y Chile.

Las series son analizadas en niveles y en rendimientos, recordando que las variables en niveles están expresadas en logaritmos naturales. También se considera especial interés en la región latinoamericana, y en el periodo seleccionado se tomaron en cuenta momentos de relativa calma y periodos de crisis.

El análisis de estacionariedad y orden de integración proporciona información sobre los rendimientos de las series a partir del análisis de cointegración, y las pruebas que se utilizan son la prueba aumentada de Dickey-Fuller (ADF) y la prueba de raíz unitaria y cambio estructural de Zivot-Andrews (ZA). Se considera la prueba de Johansen, por ser una prueba más completa de las relaciones a largo plazo en sistemas de varias variables.

En el caso del análisis de la varianza de los rendimientos, se proponen los modelos GARCH multivariados, se lleva a cabo la estimación de las matrices varianza-covarianza considerando el supuesto de la estructura diagonal DBEKK (Diagonal BEKK), DVECH (Diagonal VECH) y CCC (*Constant Conditional Correlation*).

Los modelos GARCH permiten analizar los efectos de apalancamiento en las series bursátiles, considerando que la distribución de densidad puede ser *t* de Student o normal. Se debe considerar que aunque el criterio Akaike tiene mejor bondad de ajuste si su correspondiente matriz de varianza-covarianza no es al menos semidefinida positiva, el modelo no podrá ser una buena propuesta.

5. Base de datos y estadística descriptiva

La muestra que se utilizó en este documento incluye los precios de cierre diarios durante el periodo que abarca desde el 04 de enero de 2007 hasta enero 19 de 2018. Se consideran series diarias de los índices de precios y cotizaciones, para el caso de Estados Unidos se toman cuatro índices: el Dow Jones Industrial Average el Nasdaq100, Nasdaq Composite y el SP500; asimismo, se tomó el IPC del mercado mexicano, Bovespa de Brasil, Merval del mercado de Argentina, Colcap de Colombia y, por último, el Ipsa de Chile.

Por convención, los valores de las series se expresan mediante logaritmos naturales. Asimismo, las diferencias de valores miden las variaciones diarias de las variables. Por lo tanto, la base de datos incluye nueve series de valores nominales y nueve series de variaciones. Cada serie de valores incluye 2,878 observaciones, a excepción de Colombia, que solo incluye 1,672 observaciones, ya que la disponibilidad de datos de ellas comienza a partir de agosto de 2011. La Tabla 1 muestra las series de rendimientos usadas en el estudio.

Tabla 1

Estadística descriptiva de las series diarias de los índices del mercado bursátil

Rendimiento	RBVSP	RDJ	RIPMX	RIPSA	RSP500	RNDC	RND100	RMVBA	RCOCO
Promedio	0.000213	0.000256	0.000218	0.000264	0.000238	0.000381	0.000465	0.000968	0.002553
Máximo	0.136782	0.105083	0.104407	0.118034	0.109572	0.111594	0.118493	0.104316	7.384691
Mínimo	-0.120961	-0.082005	-0.072661	-0.071882	-0.094695	-0.095877	-0.111149	-0.129516	-0.044898
Desv. Est.	0.017188	0.011408	0.01198	0.010187	0.012417	0.013236	0.013283	0.019666	0.137802
Coef. Asim.	-0.044629	-0.113903	0.110533	0.071743	-0.353429	-0.287741	-0.204989	-0.532828	53.44551
Kurtosis	9.549406	14.3115	11.18771	15.10939	14.44537	10.95507	11.94807	7.324166	2863.608
Jarque-Bera	5144.747	15349.57	8044.909	17586.73	15768.58	7628.407	9621.634	2378.431	9.83E+08
P-value	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Observaciones	2878	2878	2878	2878	2878	2878	2878	2878	1672

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2
Matriz de correlaciones Pairwise de las series expresadas en rendimientos

Rendimientos	DJ	ND100	NDC	SP500	BVSP	IPMX	MVBA	COCO	IPSA
DJ	1								
ND100	0.8972 0.0000	*** 1							
NDC	0.9241 0.0000	*** 0.9852 0.0000	*** 1						
SP500	0.9816 0.0000	*** 0.9301 0.0000	*** 0.9577 0.0000	1					
BVSP	0.6244 0.0000	*** 0.6015 0.0000	*** 0.6167 0.0000	*** 0.6419 0.0000	1				
IPMX	0.6957 0.0000	*** 0.6725 0.0000	*** 0.695 0.0000	*** 0.7156 0.0000	0.6717 0.0000	*** 1			

<i>Rendimientos</i>	<i>DJ</i>	<i>ND100</i>	<i>NDC</i>	<i>SP500</i>	<i>BVSP</i>	<i>IPMX</i>	<i>MVBA</i>	<i>COCO</i>	<i>IPSA</i>
MVBA	0.5141 0.0000	*** 0.4899 0.0000	*** 0.5123 0.0000	*** 0.5379 0.0000	*** 0.5718 0.0000	*** 0.5244 0.0000	*** 1		
COCO	0.209 0.1696	*** 0.1835 0.3815	*** 0.1931 0.3962	*** 0.2056 0.4016	*** 0.2279 0.5443	*** 0.2171 0.9228	*** 0.2354 0.4493	1	
IPSA	0.4995 0.0000	*** 0.468 0.0000	*** 0.4851 0.0000	*** 0.506 0.0000	*** 0.5342 0.0000	*** 0.5783 0.0000	*** 0.4418 0.0000	*** 0.2444 0.1779	1

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se presenta la estadística descriptiva de los rendimientos. Asimismo, en la Tabla 2 se presenta la matriz de correlaciones Pairwise. Se observa que las relaciones entre los índices de Estados Unidos son arriba del 95 % y significancia del 99 %. En cuanto a México con Estados Unidos, en dichos índices se contemplan relaciones arriba del 67 % y significancia del 99 %. En cuanto a México y Argentina, la relación en rendimientos fue de 52 %, y con Chile de 57 %, ambas con significancia del 99 %.

6. Análisis econométrico

En esta sección se hacen los análisis correspondientes a las pruebas de estacionaridad, de cointegración, cambio estructural, impulso-respuesta, modelos de la familia ARCH, especificando un GARCH, EGARCH y el TGARCH, y, finalmente, un análisis multivariado GARCH.

Con la finalidad de detectar la estacionaridad en las series bursátiles se usan las pruebas ADF con el objeto de determinar si las series tienen o no raíces unitarias. Como es usual, se realizan las pruebas en niveles y diferencias. También se incluye la prueba de Zivot y Andrews (1992) para comprobar la existencia de posibles cambios estructurales en las series bursátiles de Estados Unidos y Latinoamérica.

Tabla 3

Prueba ADF de las series en niveles y en diferencias

Serie	Niveles		Diferencias		I(d)
	P-value	Rezagos	P-value	Rezagos	
DJ	0.6695	2	0	1	1
ND100	0.362	1	0	0	1
NDC	0.3819	1	0	0	1
SP500	0.5286	2	0	1	1
BVSP	0.262	0	0	0	1
IPMX	0.1349	1	0	0	1
MVBA	0.7559	0	0	0	1
COCO	0.7365	1	0	0	1
IPSA	0.574	1	0	0	1

Fuente: Elaboración propia.

La hipótesis nula de la prueba ADF es que hay una raíz unitaria. Las pruebas incluyen una tendencia lineal e intercepto como regresores externos. El número de rezagos se estima con base en el criterio de información de Akaike. El criterio de decisión supone un nivel de significancia del 5 %. Las series en niveles son aquellas de los valores expresados en términos de logaritmos. Las series de diferencias son aquellas de los rendimientos diarios.

Se observa, en la Tabla 3, que los valores del p-value de las series en niveles son mayores al nivel de significancia del 5 %. Por lo tanto, se muestra que todas las series en logaritmos de los índices bursátiles de los diferentes países son $I(1)$. Con la finalidad de detectar la estacionaridad en las series bursátiles se usan las pruebas ADF con el objeto de determinar si las series tienen o no raíces unitarias. Como es usual, se realizan las pruebas en niveles y diferencias. También se incluye la prueba de Zivot y Andrews (1992) para comprobar la existencia de posibles cambios estructurales en las series bursátiles de Estados Unidos y Latinoamérica.

Tabla 4
Prueba de raíz unitaria para un cambio estructural Zivot-Andrews¹

Serie	Tendencia			Intercepto		Intercepto y tendencia	
	Estadístico	Fecha		Estadístico	Fecha	Estadístico	Fecha
DJ	-4.177	Oct 09, 2008	*	-3.797	Sep 15, 2008	-4.555	Sep 12, 2008
ND100	-4.281	Oct 07, 2008	*	-4.078	Sep 12, 2008	-4.705	Sep 12, 2008
NDC	-4.293	Oct 08, 2008	*	-4.100	Sep 22, 2008	-4.705	Sep 22, 2008
SP500	-4.579	Oct 10, 2008	**	-4.255	Sep 15, 2008	-5.307	Sep 22, 2008
BVSP	-3.255	Jan 05, 2016		-3.356	Feb 29, 2016	-3.467	May 18, 2015
IPMX	-2.996	Sep 15, 2008		-3.797	Jul 08, 2009	-5.852	Mar 10, 2009
MVBA	-2.732	Apr 09, 2012		-2.728	Jun 28, 2013	-3.146	Jun 28, 2013
COCO	-2.898	Nov 26, 2015		-3.772	Sep 22, 2014	-4.173	Nov 24, 2014
IPSA	-2.062	May 20, 2016		-3.133	Sep 22, 2014	-3.575	Mar 09, 2009

Fuente: Elaboración propia.

¹ El símbolo* denota si existe cambio estructural. La hipótesis nula de la prueba Zivot-Andrews es que no hay cambio estructural. El número de rezagos se estima con base en el Criterio de Información de Schwarz. Bajo el supuesto de Intercepto, los valores críticos son de -5.34, -4.80 y -4.58 al 1, 5 y 10 por ciento de significancia, respectivamente. Para el supuesto de Tendencia los valores críticos son de -4.93, -4.42 y -4.11 al 1, 5 y 10 por ciento de significancia, respectivamente. Finalmente, bajo el supuesto de Intercepto y Tendencia los valores críticos son de -5.57, -5.08 y -4.82 al 1, 5 y 10 por ciento de significancia, respectivamente. Las series en niveles son aquellas de los valores expresados en logaritmos.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la prueba de raíz unitaria con cambio estructural Zivot-Andrews (1992), tomando en cuenta los valores críticos para cada supuesto explicados anteriormente, se concluye el rechazo de la hipótesis nula para los casos de los índices de Estados Unidos en el supuesto de tendencia, y de intercepto y tendencia, y para el caso de México en el supuesto de intercepto y tendencia. Por lo cual se infiere la existencia de cambios estructurales existentes en las series, en las fechas enunciadas en la Tabla.

7. Análisis de los modelos GARCH, EGARCH y TGARCH

Los modelos propuestos describen la volatilidad de las series; también, para pronósticos de rendimientos en el corto plazo son usualmente utilizados los GARCH, EGARCH y TGARCH.

La primera etapa para estimar los modelos anteriores consiste en realizar la prueba de efectos ARCH-lm. Esta prueba es comúnmente utilizada para sondear si los residuales presentan heterocedasticidad condicional. La hipótesis nula sugiere la no existencia de heterocedasticidad condicional en los residuales.

Tabla 5

Prueba de efectos ARCH-LM para las series en diferencias

<i>Serie</i>	<i>Estadístico F</i>	<i>P-value</i>
DJ	199.17	0.0000
ND100	113.0907	0.0000
NDC	151.7181	0.0000
SP500	196.4408	0.0000
BVSP	155.6869	0.0000
IPMX	86.60385	0.0000
MVBA	86.40076	0.0000
COCO*	27.60249	0.0000
IPSA	71.15532	0.0000

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 se muestra que todos los índices presentan efectos ARCH, por lo cual es posible su descripción mediante los modelos GARCH, EGARCH y TGARCH.

En las tablas 6, 7 y 8 se muestran las estimaciones para cada modelo, se hacen utilizando la distribución de Error Generalizado (GED). Se utiliza el método de optimización de Marquardt para estimar los parámetros de los modelos.

Tabla 6

Parámetros estimados para el modelo AR(1)-GARCH(1,1), con distribución GED para el periodo de enero 4 de 2007 a enero 19 de 2018

Parámetro		DJ	ND100	NDC	SP500
ϕ_0	Coef	0.0005	0.0009	0.0009	0.0006
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ϕ_1	Coef	0.1166	0.0618	0.0357	0.0230
	prob	0.0479	0.5709	0.8186	0.8808
ρ	Coef	-0.1724	-0.0947	-0.0757	-0.0844
	prob	0.0031	0.3825	0.6252	0.5802
ω	Coef	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	prob	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001
α_1	Coef	0.1249	0.1022	0.0989	0.1197
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
γ	Coef	0.8673	0.8867	0.8886	0.8752
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	logl	9728.8770	9074.0960	9104.2020	9551.7520
	akaike	-6.7607	-6.3054	-6.3263	-6.6375

Parámetro		BVSP	IPMX	MVBA	COCO*	IPSA
ϕ_0	Coef	0.0004	0.0003	0.0006	0.0001	0.0004
	prob	0.0921	0.9959	0.0029	0.6232	0.9993
ϕ_1	Coef	-0.1052	0.0148	0.1567	0.1237	0.0736
	prob	0.2600	0.9999	0.0029	0.2043	0.9999
ρ	Coef	0.0805	0.0148	-0.1406	-0.0797	0.0736
	prob	0.3905	0.9999	0.0085	0.4201	0.9999

Parámetro		BVSP	IPMX	MVBA	COCO*	IPSA
ω	Coef	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	prob	0.0006	0.0018	0.0001	0.0039	0.0000
$\alpha 1$	Coef	0.0661	0.0740	0.0945	0.1191	0.1360
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
γ	Coef	0.9149	0.9190	0.8752	0.8567	0.8394
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	logl	8054.9180	9313.3610	7650.3660	5883.7950	9760.2430
	akaike	-5.5966	-6.4717	-5.3153	-7.0087	-6.7825

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Parámetros estimados para el modelo AR(1)-EGARCH(1,1), con distribución GED para el periodo de enero 4 de 2007 a enero 19 de 2018

Parámetro		DJ	ND100	NDC	SP500
$\varphi 0$	Coef	0.0006	0.0009	0.0008	0.0005
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$\varphi 1$	Coef	-0.1813	-0.1556	-0.1366	-0.1211
	prob	0.0007	0.0091	0.0615	0.1745
ρ	Coef	0.1299	0.1282	0.0990	0.0627
	prob	0.0173	0.0339	0.1808	0.4866
ω	Coef	-0.3588	-0.3592	-0.3035	-0.3141
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$\alpha 1$	Coef	0.1577	0.1346	0.1200	0.1468
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
γ	Coef	-0.1593	-0.1737	-0.1614	-0.1729
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
β	Coef	0.9750	0.9722	0.9773	0.9787
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	logl	9776.0830	9126.5560	9153.1360	9604.9980
	akaike	-6.7928	-6.3411	-6.3596	-6.6739

Parámetro		BVSP	IPMX	MVBA	COCO*	IPSA
$\varphi 0$	Coef	0.0003	0.0002	0.0006	0.0000	0.0003
	prob	0.3256	0.9989	0.0067	0.8385	0.9972
$\varphi 1$	Coef	-0.1295	0.0173	0.1658	0.1506	0.0742

Parámetro		BVSP	IPMX	MVBA	COCO*	IPSA
ρ	prob	0.0707	1.0000	0.0008	0.0792	0.9998
	Coef	0.1084	0.0173	-0.1481	-0.0822	0.0742
ω	prob	0.1327	1.0000	0.0031	0.3464	0.9998
	Coef	-0.2110	-0.1563	-0.5145	-0.4274	-0.4437
α_1	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
	Coef	0.1099	0.1016	0.2023	0.1624	0.2078
Υ	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Coef	-0.0730	-0.0926	-0.0635	-0.0871	-0.0805
β	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Coef	0.9847	0.9915	0.9538	0.9683	0.9700
	prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	logl	8069.1440	9339.9280	7648.6520	-7.0178	9774.4450
	akaike	-5.6058	-6.4895	-5.3134	-7.0178	-6.7917

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Parámetros estimados para el modelo AR (1)-TGARCH (1,1) univariado, con distribución GED para el periodo de enero 10 del 2017 al junio 7 de 2016

Parametro		DJ	ND100	NDC	SP500
ϕ_0	Coef	0.0006	0.0007	0.0007	0.0004
	Prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
ϕ_1	Coef	-0.1758	0.0838	0.0647	0.0530
	Prob	0.0017	0.3367	0.5407	0.5993
ρ	Coef	0.1233	-0.1115	-0.1011	-0.1100
	Prob	0.0303	0.1972	0.3341	0.2708
ω	Coef	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
α_1	Coef	-0.0178	-0.0196	-0.0208	-0.0219
	Prob	0.1490	0.0901	0.0804	0.1011
Υ	Coef	0.2221	0.2315	0.2181	0.2354
	Prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
β	Coef	0.8879	0.8797	0.8856	0.8872

Parametro		DJ	ND100	NDC	SP500
	Prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Logl	9775.3340	9118.2490	9146.7380	9597.4660
	Akaike	-6.7923	-6.3354	-6.3552	-6.6686

Parametro		BVSP	IPMX	MVBA	COCO*	IPSA
φ^0	Coef	0.0002	0.0002	0.0005	0.0000	0.0003
	Prob	0.3478	0.9979	0.0129	0.7547	0.9995
φ^1	Coef	-0.1205	0.0162	0.1576	0.1382	0.0753
	Prob	0.1225	1.0000	0.0031	0.1325	1.0000
ρ	Coef	0.1030	0.0162	-0.1395	-0.0803	0.0753
	Prob	0.1884	1.0000	0.0098	0.3895	1.0000
ω	Coef	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Prob	0.0000	0.0001	0.0000	0.0024	0.0000
α^1	Coef	0.0136	-0.0103	0.0692	0.0377	0.0409
	Prob	0.2244	0.2355	0.0003	0.0728	0.0045
γ	Coef	0.1004	0.1119	0.0856	0.1073	0.1367
	Prob	0.0000	0.0000	0.0013	0.0004	0.0000
β	Coef	0.9153	0.9470	0.8410	0.8842	0.8631
	Prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Logl	8072.6700	9343.6510	7655.8000	5891.0610	9779.7200
	Akaike	-5.6083	-6.4921	-5.3184	-7.0162	-6.7954

Fuente: Elaboración propia.

El objeto de utilizar los modelos GARCH para las series bursátiles de los países propuestos es captar la dinámica de la volatilidad a largo plazo (Engle y Rangel, 2004). Otra característica en el modelo estándar GARCH es el impacto de las noticias en los índices y sus rentabilidades.

Los resultados de los modelos univariados son los siguientes: 1. Existe evidencia de que los rendimientos se ajustan adecuadamente a modelos GARCH asimétricos; 2. los rendimientos y perturbaciones de todas las series son descritas notoriamente mediante una distribución GED, implicando el modelado de la leptocurtosis de las series; 3. las series DJ, ND100, NDC, SP500 y COCO se ajustan perfectamente a un modelo AR(1)-

EGARCH(1,1), mientras que BVSP, IPMX, MVBA e IPSA se ajustan a un modelo AR(1)-TGARCH(1,1); 4. los resultados a través del parámetro γ , indican que: a) las series BVSP, IPMX MVBA e IPSA tienen efectos de apalancamiento ($\gamma > 0$), es decir, las malas noticias incrementan la volatilidad, teniendo los siguientes impactos: 0.1140, 0.1016, 0.1548 y 0.1776, respectivamente; las series DJ, ND100, NDC, SP500 y COCO tienen ($\gamma < 0$), indicando que las malas noticias tienden a reducir la volatilidad; 5. el mayor impacto de alguna mala noticia o choque estocástico se da en el mercado de IPSA con 17.76 %, seguido del mercado de MVBA con 15.48 %; finalmente, los resultados de la no cointegración en los mercados bursátiles implica que los inversionistas estén en posibilidad de disminuir a largo plazo el riesgo de sus inversiones mediante estrategias de diversificación.

8. Modelación GARCH multivariada

A continuación se presentan los resultados de los modelos GARCH y TGARCH multivariados, lo cuales consideran un coeficiente autorregresivo de orden uno AR (1) dentro de la especificación de la ecuación de la media. Además, la modelación recurre al supuesto de que la matriz de varianza-covarianza (MVC) tiene una estructura Diagonal VECH (DVECH), Diagonal BEKK (DBEKK) y de Correlación Condicional Constante (CCC). En particular, el uso de los modelos DVECH, CCC y DBEKK se justifica porque su estructura similar permite comparar la especificación de la media y la MVC, además de brindar facilidad ante el proceso de maximización, y se recurre al supuesto de que los errores siguen una distribución normal, así como una t de Student.

Cabe mencionar que la modelación recurre al uso de las series que son estacionarias y presentan la existencia de efectos ARCH.

En la Tabla 9 y con base en las estimaciones de los modelos AR(1) GARCH y AR (1) TGARCH, y con el supuesto de una distribución normal y t de Student, se resumen los resultados obtenidos para el coeficiente AR (1) asumido en la estructura de la ecuación de la media con el fin de determinar la existencia de un efecto del pasado sobre los valores actuales de la serie.

Tabla 9

Estimaciones de bondad de ajuste de los modelos
MGARCH para los países de América

Especificación Dinámica	Modelo	Parámetros	AR(1)- GARCH(1,1) Normal	AR(1)- TGARCH(1,1) Normal	AR(1)- GARCH(1,1) t-Student	AR(1)- TGARCH(1,1) t-Student	
Media	dvech	ρ	-0.0089	-0.0004	-0.0087	0.0204	***
		Estimados	19	19	19	19	
		Significativos	13	9	11	17	
	ccc	ρ	-0.0088	-0.0088	-0.0087	-0.0087	
		Estimados	19	19	19	19	
		Significativos	9	7	9	9	
	dbekk	ρ	-0.0129	***	-0.0088	0.0032	-0.0034 ***
		Estimados	19	19	19	19	
		Significativos	14	12	9	18	
Varianza	dvech	Estimados	135	64	63	28	
		Significativos	98	24	36	28	
	ccc	Estimados	63	72	63	72	
		Significativos	20	17	21	19	
	dbekk	Estimados	19	72	19	28	
		Significativos	19	46	19	28	
Varianza Transformada	dvech	Estimados	135	156	135	100	
		Significativos	97	98	100	100	
	ccc	Estimados	63	72	63	72	
		Significativos	20	17	21	19	
	dbekk	Estimados	19	72	19	28	
		Significativos	19	46	19	28	
Distribución t	dvech	Estimados			1	1	
		Significativos			1	1	
	ccc	Estimados			1	1	
		Significativos			1	1	
	dbekk	Estimados			1	1	
		Significativos			1	1	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la bondad de ajuste para los modelos MGARCH multivariados, se desprende que el mejor modelo para explicar los rendimientos del mercado bursátil es el DVECH, con una especificación AR(1)-TGARCH(1,1) bajo una distribución t-Student. No obstante, este modelo no cumple con la condición de que la matriz de varianza-covarianza sea definida

positiva. Por ello, la pertinencia de escoger el segundo mejor modelo, asegurando la robustez correspondiente a un DBEKK con especificación AR(1)-GARCH(1,1) bajo una distribución t-Student, cuya parametrización de la ecuación GARCH asegura que la matriz de covarianza sea definida positiva, permitiendo que el sistema GARCH multivariado sea estimado de baja dimensión.

Tabla 10

Estimaciones de bondad de ajuste de los modelos MGARCH para los países de América

<i>Modelo</i>	<i>Criterio de Información de Akaike</i>						<i>Modelo con mejor bondad de ajuste</i>
	<i>DVECH</i>			<i>CCC</i>			
AR(1)-GARCH(1,1)	-48.419			-49.101			ccc
AR(1)-TGARCH(1,1)	-25.391	*		-49.139			dbekk
AR(1)-GARCH(1,1) t-student	-61.295	*		-52.172			dbekk
AR(1)-TGARCH(1,1) t-student	-77.177	*		-52.201			dvech

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del modelo DBEKK indican lo siguiente: 1. de los 19 parámetros estimados en la ecuación de la media, nueve resultaron ser estadísticamente significativos, mientras que diez resultaron ser no significativos, permitiendo rechazar la hipótesis de que los coeficientes constantes en el largo plazo tiendan a cero, lo cual es consistente con la dinámica del análisis GARCH, además de corroborar que no existe predictibilidad de los rendimientos en el largo plazo; 2. la no significancia del parámetro ρ_i implica ausencia de autocorrelación entre los rendimientos, ofreciendo una validación en su forma débil de la hipótesis de la eficiencia en los mercados bursátiles latinoamericanos; 3. los resultados de las estimaciones de varianza por cada serie muestran que la variabilidad está autocorrelacionada con el valor del rendimiento rezagado y con el error de estimación del modelo para cada serie, las varianzas son diferentes de cero, lo que evidencia que la volatilidad es característica del mercado bursátil; 4. las ecuaciones de covarianza entre pares implican que las rela-

ciones entre las series de los rendimientos y su volatilidad sean directas; 5. las perturbaciones son explicadas adecuadamente mediante una distribución t-Student, introduciendo las colas pesadas y valores extremos como información relevante para los inversionistas a la hora de realizar operaciones financieras.

9. Conclusiones

El tema de la globalización, en particular la globalización financiera y su impacto en economía y finanzas, sobre todo en el contagio y el desarrollo de crisis financieras, es un tema de gran importancia en los temas de investigación y toma de decisiones. El estudio de este tema puede hacerse desde muchos puntos de vista; en el presente trabajo se hace utilizando las herramientas de series de tiempo y de los resultados técnicos se pueden enumerar las siguientes conclusiones:

El estudio utiliza como fuente de información las series bursátiles Dow Jones Industrial Average, Nasdaq100, Nasdaq Composite y SP500, IPC de México, Bovespa de Brasil, Merval de Argentina, Colcap de Colombia y, por último, Ipsa de Chile. Los índices contienen información de la economía formal de un país, de las empresas y de la especulación en los mercados financieros, y es difícil aislar los efectos provenientes de cada uno.

Los índices de Estados Unidos DJ, NDC, ND100, SP500, tienen un efecto dominante sobre los índices latinoamericanos, sobre todo en el corto plazo (análisis impulso-respuesta), lo cual favorece el efecto contagio de las crisis de Estados Unidos hacia los países latinoamericanos en el corto plazo. En este caso, a pesar de que los países no tienen cercanía geográfica, el efecto de contagio por la influencia de las bolsas americanas es muy fuerte.

En el largo plazo, a pesar de estar en una misma región los países latinoamericanos y presentar un intercambio comercial, no presentan existencia de equilibrios, lo cual se justifica por los puntos de quiebre en las crisis financieras.

La presencia de heterocedasticidad y la reacción asimétrica ante las buenas y malas noticias sugiere, para una mejor modelación de la volatilidad, la inclusión de los modelos cada vez más completos de la familia GARCH.

Referencias bibliográficas

- Angarita-Calle, C. H. (2008), "Las relaciones económicas internacionales: un enfoque teórico", *Papel Político*, 13(1), 261-298.
- Berdardi Carriello, B. (2005), "El contagio financiero en países emergentes", *Pensamiento & Gestión*, 19, 43-77.
- Durán-Vázquez, R., Lorenzo-Valdés, A. & Ruiz Porras, A. (2013), "Un modelo GARCH con asimetría condicional autorregresiva para modelar series de tiempo: Una aplicación para los rendimientos del Índice de Precios y Cotizaciones de la BMV", en *Avances Recientes en Valuación de Activos y Administración de Riesgos*, Volumen 4. ISBN: 978-607-7905-06-6.
- Kindleberger, C. & Aliber R. (2005), *Manias, Panics and Crashes: A History of Financial Crises*. Palgrave Macmillan. ISBN-10: 1-4039-3651-X.
- Lorenzo-Valdés, A. & Ruiz Porras, A. (2011), "Modelación de los rendimientos bursátiles mexicanos mediante los modelos tgarch y egarch: Un estudio econométrico para 30 acciones y el Índice de Precios y Cotizaciones", en *Métodos No Lineales en Series Económicas y/o Financieras*. Editorial Universitaria. ISBN: 978 607 450 487 3.
- (2012), "Los rendimientos cambiarios latinoamericanos y la (a) simetría de los shocks informacionales: Un análisis Econométrico", *Ensayos Revista de Economía*. Volumen 31, Número 2. Julio-Diciembre 2012. ISSN: 1870-221X.
- Rodríguez, A., Urionabarrenetxea, S. & San Martín, N. (2008), "Crisis financiera y globalización: Un análisis de sus factores determinantes", *Problemas del Desarrollo, Revista Latinoamericana de Economía*, Volumen 39, Número 153.
- Ruiz-Porras, A. & Anguiano-Pita, J. E. (2017), "Modelación Garch multivariada de las variaciones de tasas de interés, tipos de cambio y precios: Un estudio para México, Canadá y Estados Unidos", en *Modelado de Fenómenos Económicos y Financieros. Una Visión Contemporánea*. Editorial Castdel. ISBN: 978-607-96826-6-8.
- Uribe, J. (2011), "Contagio financiero: Una metodología para su evaluación mediante coeficientes de dependencia asintótica", *Lecturas de Economía*, Número 75.
- Villanueva, V. (2008), *Contagio e Interdependencia entre Mercados de Valores. Mecanismos y Evidencias*, Comisión Nacional del Mercado de Valores. ISBN: 978-84-87870-85-9.

CAPÍTULO 13

IMPACTO DE LA POLÍTICA MONETARIA EN UN MODELO À LA SMETS Y WOUTERS, 2003

NICOLÁS SUÁREZ ROMERO
MAURICIO RAMÍREZ GRAJEDA
DANIEL GONZÁLEZ OLIVARES

1. Antecedentes de los modelos DSGE

La modelación macroeconómica tiene una adaptabilidad implícita donde la integración a los bancos centrales ha sido de forma gradual. La Reserva Federal de EE.UU. y el Banco Central de Canadá fueron pioneros aplicando modelos macroeconómicos en la década de los 60, marcando la tendencia para otras instituciones y bancos centrales que siguieron la senda propuesta, realizando calibraciones o adaptaciones de las herramientas. En sus comienzos, los modelos presentaban dinámicas retrospectivas y elementos keynesianos en sus componentes fundamentales, utilizando mecanismos de ajuste parcial y/o enfoques de corrección de errores. A medida que los modelos evolucionaron, y acorde a cada necesidad, se han agregado diferentes elementos que utilizan estructuras de estimación de la política monetaria y sus efectos en la economía.

Partiendo de la modelización como herramienta esencial, el marco de la optimización intertemporal de expectativas tiene como objetivo establecer el equilibrio general, acorde a los principios de los modelos nekeynesianos DSGE, con el objeto de tomar decisiones con base en parámetros cuantitativos, que se obtienen de los datos que proveen participantes del mercado en general.

Los modelos de esta línea de investigación cuentan con diversos elementos que incluyen rigideces nominales y reales, costos de ajuste nominales, formación de hábitos, costos de ajuste de la inversión, restricciones de utilización de capital, fricciones de ajustes para salarios y precios y mercados laborales, aumentando la perspectiva del marco a optimizar, teniendo en cuenta imperfecciones de mercado, supuestos que se asocian con la economía y riesgos asociados con el sector financiero en el análisis del ciclo económico.

El análisis presentado en Taylor & Wieland (2012) realiza una comparación delimitando los desarrollos de mayor significancia y estableciendo la integración en el diseño de políticas monetarias. Los modelos neokeynesianos han sido utilizados con frecuencia por diferentes bancos centrales y otras instituciones y bajo criterios normalizados. El análisis establece implicaciones que orientan la senda del equilibrio óptimo, realizando una evaluación detallada de los resultados. Por consiguiente, el trabajo de Wieland *et al.* (2016) se especifica los parámetros que cada modelo resuelve, donde los modelos neokeynesianos tienden a develar la influencia que determina el rol del sector financiero respecto a la transmisión de políticas, las fricciones financieras y tasas de interés, mejorando el ajuste del modelo por medio de la inclusión de parámetros que brinden mayor capacidad predictiva aumentando la precisión.

Clasificación de los modelos DSGE. La literatura de los modelos DSGE expone en primera instancia el estudio de economía reales cerradas, dejando una brecha de investigación que se explora a través de las economías abiertas y la inclusión de los elementos monetarios que complementen, teniendo como resultado mayor precisión al modelo. Gran parte de la evidencia empírica, en su factor monetario, se relaciona con el modelo neokeynesiano e influye en los trabajos de Batini *et al.* (2000), Galí *et al.* (2001), Galí *et al.* (2003), Leeper & Zha (2001), Roberts (1995) y Smets & Wouters (2007). Esta evidencia indica que los choques monetarios tienen efectos reales importantes a corto plazo.

El paulatino crecimiento interés por emplear los análisis DSGE por parte de los bancos centrales, adaptando los modelos a sus necesidades particulares, como lo son el Banco de Inglaterra (Castillo *et al.*, 2009), Banco Central de Chile (Laxton, 2008), Banco Central de Reserva del Perú

(Pesenti, 2008), Banco Central Europeo, Banco Central Noruego o Sveriges Riksbank (Adolfson *et al.*, 2008); a su vez, en el trabajo de Brubakk *et al.* (2006), Christoffel *et al.* (2007), Erceg *et al.* (2005), Harrison *et al.* (2005), Kumhof & Laxton (2007), Medina *et al.* (2007) y Tovar (2009). A pesar de estos avances y el creciente interés por los resultados que se generan bajo su aplicación, el uso de los modelos DSGE aún permanece en la periferia del proceso formal que establece criterios para toma de decisiones de políticas en la mayoría de los bancos centrales.

La incorporación de la estimación bayesiana integrada en los trabajos de Smets & Wouters (2003) y posterior depuración (Smets & Wouters, 2007).¹ Investigaciones con un grado de detalle suficiente para ser considerados en la estimación de economías del prestigio, como la zona del euro o EE.UU., y como resultado se generó una expansión y popularización tanto de SW-03 como de los modelos de segunda generación del marco neokeynésiano. A estos factores se suman los incrementos en capacidad de cálculo computacional, que permitieron elaborar resoluciones de estos modelos con fluidez, versatilidad y rapidez, por lo tanto, estos modelos se volvieron bastante populares para bancos centrales e instituciones políticas, antes de la gran recesión de 2008, como lo demostraron los trabajos de Coenen *et al.* (2012) y Vlcek & Roger (2012).

Las características de los modelos neokeynesianos DSGE tienen como los exponentes de resultados satisfactorios a los modelos de segunda generación a la CEE y SW, siendo utilizados en el análisis de la política monetaria de forma continua, tanto por bancos centrales tradicionales como conservadores, extendiendo su uso y aplicación, teniendo en cuenta que la investigación de los modelos derivados de tercera generación son relativamente nuevos para la evaluación de la política fiscal y la política macroprudencial en relación con las generaciones anteriores.

Exposición del modelo. Los principales hallazgos empíricos se realizan para un modelo dinámico de equilibrio general estocástico para una economía cerrada, que se alimenta con datos proporcionados por el banco de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y por el sistema de información económica del Banco de México (Banxico).

1 En la literatura se les conoce de forma abreviada como SW-03 y SW-07.

El modelo sw-03 hace parte de la serie de investigaciones de segunda generación, que hace énfasis en los modelos Estocásticos Dinámicos de Equilibrio General (DSGE). La aplicación en la economía de México se estudia con el ánimo de comprender la injerencia de la política monetaria en una dinámica cíclica y evaluar su comportamiento en cada una de las opciones sugeridas en el estudio, evaluando las pautas que se generan a través de la inflación y el crecimiento, con la intervención generada por un choque directo en la tasa de interés de corto plazo y los efectos que este tipo de decisiones puede generar en una economía en desarrollo.

El estudio pretende analizar diferentes escenarios teóricos donde se realizan simulaciones del modelo planteado por sw-03, evaluando la política monetaria a través de la regla de Taylor (1993), teniendo como objeto establecer las funciones impulso-respuesta que generan choques específicos para cada variable incluida en el modelo, estableciendo un pronóstico de la inflación y el crecimiento en las diferentes opciones propuestas, desarrollando ejercicios de simulación continua generados en la previsión de los principales agregados macroeconómicos para reglas monetarias y su posterior efecto sobre las variables del modelo; este proceso se realiza bajo las consideraciones aplicadas en Klima *et al.* (2015).

2. Modelo sw-03 y su relevancia

Supuestos del sw-03 y restricciones. La literatura de modelos DSGE considera a CEE y sw-03 como ejemplos con mayor número de referencias por su desempeño en diferentes escenarios, tanto en economías abiertas como cerradas, integrando resultados de rigideces reales o nominales, que se adaptan a las necesidades que la economía particular plantea. sw-03 tiene como punto de partida las siguientes restricciones que son analizadas en el trabajo de Tovar (2009): los hogares consumen, deciden cuánto invertir y son proveedores monopolísticos por tipos de trabajo diferenciado, permitiendo establecer salarios; las empresas contratan mano de obra, rentan capital y son proveedores monopólicos de productos diferenciados, permitiendo fijar precios. Este análisis expone las características fundamentales tanto para los hogares como para las empresas y el surgimiento de

interacciones a causa de fricciones nominales cuando se evalúan salarios y precios fijos. El modelo especifica la indexación parcial de salarios y precios, explicando una limitación en la capacidad para restablecer los precios o salarios.

El modelo sw-03 manifiesta que la función de utilidad se descompone en términos de consumo, ocio y dinero real. Considera que las preferencias de los hogares muestran una persistencia del hábito continuo en el consumo de bienes y servicios. En los estudios de Kollmann (1996) y Erceg *et al.* (2001), se desarrollan y establecen precios nominales fijos, restricciones que adopta el sw-03. Sin embargo, para los salarios se hace un ajuste, siguiendo el mecanismo de Calvo, y se toma de forma implícita la existencia de un poder monopolístico sobre los salarios, expresado en una ecuación salarial, permitiendo la introducción de salarios nominales pegajosos, las empresas producen bienes diferenciados, deciden la mano de obra y los insumos de capital, que expone Calvo (1983). El modelo presenta un conjunto de choques estructurales: incremento en tecnología, preferencias de consumo, productividad, oferta laboral, factor de descuento del hogar, función de costo de ajuste de la inversión y consumo del gobierno. Se consideran tres choques de “empuje de costes” y dos choques de política monetaria. El proceso de resolución del modelo tiene por inicio la estimación de los parámetros en los procesos estocásticos que gobiernan los choques estructurales y las series de tiempo utilizando siete series macroeconómicas: PIB real, consumo, inversión, deflactor del PIB, salario real, empleo y tasa de interés nominal de corto plazo.

Política monetaria. Se utiliza como marco de referencia desarrollado por sw-03, tiene supuestos que determinan los objetivos de la política monetaria óptima abordando los típicos problemas relacionados con su implementación. Uno de los principales argumentos que genera incertidumbre en este proceso donde ninguna de estas reglas parece un candidato probable para orientar la política monetaria de manera práctica, requiriendo que el banco central responda a cambios en la tasa de interés natural. Esa observación motiva la introducción de reglas que un banco central podría seguir en la práctica, etiquetadas como reglas simples y el desarrollo de un criterio para evaluar la conveniencia relativa de esas reglas, con base en sus efectos de bienestar. Se proporciona una ilustra-

ción de ese enfoque al evaluar las políticas mediante el análisis de las propiedades de dos reglas simples: una regla de Taylor (1999) y una regla de crecimiento constante del dinero.

Para analizar sus implicaciones de equilibrio, la regla candidata a considerar se integra en las ecuaciones que representan las restricciones del modelo sw-03. En la literatura sobre política monetaria óptima, un resultado estándar considera una estrategia de compromiso del banco central como forma de superar el sesgo de inflación resultante de los intentos de lograr un nivel de producción superior a la tasa natural.

La pregunta central gira en torno a: ¿Cómo podría ser el desempeño en el largo plazo del modelo del banco central de un país emergente como lo es México, que debe forzar movimientos en las tasas de interés, y qué influencia tiene en la economía?

La senda que traza el banco central tiene por objeto evitar inflación excesiva, sin embargo, este factor debe ser progresivo y permanente, evitando el efecto contrario de cero inflación. La aplicabilidad del modelo comprende mantener una tasa inflacionaria baja pero estable, que evite tomar medidas políticas alternativas y pueda considerarse una autoridad monetaria exitosa.

Modelo sw-03. El mercado se encuentra en equilibrio cuando la demanda de capital de productores de bienes intermedios es igual a la oferta de los hogares. El mercado laboral está en equilibrio si la demanda de mano de obra de las empresas es igual a la oferta de mano de obra disponible y acorde al nivel salarial que es establecido por los hogares. La tasa de interés está determinada por una función de reacción que describe decisiones de política monetaria. Esta regla se discutirá en la siguiente sección. En el mercado de capitales, el equilibrio significa que la deuda pública está en manos de inversores nacionales a la tasa de interés del mercado R_t .

El mercado de bienes finales está en equilibrio si la producción es igual a la demanda de los hogares para el consumo y la inversión y el gobierno:

$$Y_t = C_t + G_t + I_t + \Psi_{(Z_t)} + K_{t-1}$$

En donde, la ecuación presenta a Y_t como Mercado de Bienes Finales, C_t es el consumo, G_t es Gobierno, I_t es el inversión, $\Psi(z_t)$ representa una función de costo asociada al porcentaje de la capacidad total de producción y K_{t-1} tiene como objeto representar la ley de movimiento de capital en un periodo anterior.

El modelo analiza la influencia que generan uno o más choques en la política monetaria. Partiendo de la base del equilibrio, los choques afectan la producción con mayor intensidad en la región que tiene una mayor participación de capital, sin crear un efecto diferencial sobre la inversión y el consumo, produciendo perturbaciones de la política monetaria con el potencial de inducir desigualdad fiscal, esta interacción depende del nivel inicial de la distribución del ingreso y la naturaleza del choque. Dada una regla de equalización basada en la equidad, si la región con alta participación de capital es también la más rica, entonces un choque de política monetaria tanto contraccionista como expansivo puede reducir o aumentar la desigualdad fiscal regional, dado el caso propuesto en el sistema.

2.1. Modelo sw-03

Existe un continuo de hogares indicado por el índice (j). Los hogares difieren en que proporcionan un tipo de trabajo diferenciado. Así, cada hogar tiene un poder de monopolio sobre la oferta de su mano de obra. Cada hogar maximiza una función de utilidad intertemporal dada por:

$$\mathcal{E}_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t U_t(j)$$

Donde β es el factor de descuento y la función de utilidad instantánea es separable en consumo C_t y ocio $-\ell_t$,

$$U_t(j) = \mathcal{E}_t^b \left(\frac{1}{1 - \sigma_c} (C_t(j) - H_t)^{1 - \sigma_c} - \frac{\mathcal{E}_t^\ell}{1 - \sigma_\ell} (\ell_t(j)^{1 + \sigma_\ell}) \right)$$

el choque de hábitos externos es proporcional al consumo pasado agregado, se debe hacer notar que H_t no tiene un indicador (j), puesto que hace parte de un valor que no es continuo y solo se recibe por una única ocasión:

$$H_t = hC_{t-1}$$

por consiguiente, h es el parámetro de formación del hábito externo, s representa a la elasticidad de sustitución intertemporal y s' es la elasticidad de la oferta de trabajo. La utilidad depende positivamente del consumo de bienes, $C_t(j)$, en relación con una variable de hábito externo, H_t , y negativamente en la oferta de trabajo, ℓ_t . σ_c es el coeficiente de la aversión relativa al riesgo de los hogares o la inversa de la elasticidad intertemporal de la sustitución; s representa la inversa de la elasticidad del esfuerzo de trabajo con respecto al salario real.

La ecuación (3) también contiene dos choques de preferencia: $\mathcal{E}_t^b$ representa un choque en la tasa de descuento que afecta a la sustitución intertemporal de los hogares (choque de preferencia) y $\mathcal{E}_t^\ell$ representa un choque en la oferta de mano de obra. Se parte del supuesto de que ambos choques siguen un proceso autorregresivo de primer orden con un término de error normal, donde:

$$\mathcal{E}_t^b = \rho \mathcal{E}_{t-1}^b + \eta_t^b$$

$$\mathcal{E}_t^\ell = \rho \mathcal{E}_{t-1}^\ell + \eta_t^\ell$$

Primera restricción del modelo. Los hogares maximizan su función objetivo sujeto a una restricción presupuestaria intertemporal dada por:

$$b_t \frac{B_t(j)}{P_t} = \frac{B_{t-1}(j)}{P_t} + Y_t(j) - C_t(j) - I_t(j)$$

Los hogares mantienen su riqueza financiera en forma de bonos $B_t(j)$. Los bonos son valores de un periodo con el precio b_t . Los ingresos actuales y el patrimonio financiero pueden utilizarse para el consumo y la inversión en capital físico. El ingreso total del hogar es dado por:

$$Y_t = \{w_t(j)\ell_t + A_t(j) + R_t^k Z_t(j) - \Psi(Z_t(j))K_{t-1}\} + Div_t(j)$$

El ingreso total consta de tres componentes:

1. Ingreso laboral más la entrada de efectivo neto de la participación en valores dependientes del estado $w_t(j)\ell_t + A_t(j)$.
2. El rendimiento de la masa de capital real menos el costo asociado con variaciones en el grado de utilización del capital $R_t^k Z_t(j) - \Psi(Z_t(j))K_{t-1}$.
3. Los dividendos de las empresas intermedias $Div_t(j)$.

Tomando la ecuación 7, se reescribe de la siguiente forma:

$$\mathfrak{R}_t^1 = \frac{B_t(j)}{P_t} + Y_t(j) - \left[b_t \frac{B_{t+1}(j)}{P_t} + C_t(j) + I_t(j) \right]$$

reemplazando $Y_t(j)$ de la ecuación 8, en la ecuación 9,

$$\mathfrak{R}_t^1 = \frac{B_t(j)}{P_t} + \left\{ \left(\frac{w_t(j)\ell_t(j)}{P_t} + A(j) \right) + \left(\frac{R_t^k(j)Z_t(j)K_{t-1}(j)}{P_t} - \frac{\Psi(Z_t(j))K_{t-1}(j)}{P_t} \right) + (Div_t(j)) \right\} - \left[b_t \frac{B_{t+1}(j)}{P_t} + C_t(j) + I_t(j) \right]$$

donde, $A(j)$ representa el ingreso efectivo neto de las participaciones de los valores contingentes del estado, $W_t(j)$ es el salario de los hogares, P_t hace referencia a los precios de los bonos, la variable $Z_t(j)$ es la tasa de utilización de capital, $K_{t-1}(j)$ determina al capital instalado. $R_t^k(j)Z_t(j)K_{t-1}(j)/P_t$ es el ingreso obtenido de alquilar, R_t^k denota la tasa de alquiler de los servicios de capital, $Div_t(j)$ representa los dividendos distribuidos por firmas minoristas y sindicatos laborales imperfectamente competitivos. $\Psi(Z_t(j))K_{t-1}(j)$ es el costo del recurso de aumentar la tasa de utilización de capital (se asume la función de costo de utilización de capital). Ψ es la función de costo de ajuste, con $\Psi(\psi) = \Psi'(\psi)0$ y $\Psi''(\cdot) > 0$, y δ es la tasa de depreciación del capital.

Segunda restricción del modelo. Los bienes pueden escoger el valor de su reserva de capital, inversión, y el índice de utilización, con el objetivo de maximizar su función objetivo intertemporal, sujeto a una restricción de presupuesto y de la ecuación de acumulación de capital.

$$\mathfrak{R}_t^2 = \left[K_{t-1}(1 - \delta) - K_t - \left[1 - \Upsilon \left(\varepsilon_t^1 \frac{I_{t-1}}{I_t} \right) \right] I_t \right]$$

donde, K_t es ley de movimiento del capital, δ tasa de depreciación del capital, $\Upsilon \left(\varepsilon_t^1 \frac{I_{t-1}}{I_t} \right)$ es la función de ajuste para la función de costo e I_t representa la inversión bruta. El I_t sigue un proceso autoregresivo de primer orden:

$$\varepsilon_t^I = \rho \varepsilon_{t-1}^I + \eta_t^I$$

Se adopta la siguiente función de costo:

$$\Upsilon(x) = \frac{\varphi}{2}(x - 1)$$

donde j es el parámetro de escala.

El planteamiento del documento de sw-03 se expresa en la ecuación 14, donde se especifica el Lagrangiano ($\mathcal{L}$) correspondiente a la sumatoria de los valores de utilidad ($U_t(j)$) de la ecuación 3 y las correspondientes restricciones representadas por los valores $\mathfrak{R}_t^1$ y $\mathfrak{R}_t^2$ que se presentan en las ecuaciones 10 y 11, respectivamente:

$$\mathcal{L}(C_t(j), B_{t+1}(j), \ell_t(j), I_t(j), K_{t+1}(j), Z_t(j)) = \varepsilon_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[U_t(j) + \left(\Xi_t(j) \mathfrak{R}_t^1(j) + \Xi_t^K(j) \mathfrak{R}_t^2(j) \right) \right]$$

En primera instancia se desarrolla la sumatoria del Lagrangiano:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(C_t(j), B_{t+1}(j), \ell_t(j), I_t(j), K_{t+1}(j), Z_t(j)) \\ = \varepsilon_t \{ \beta^t [U_t(j) + \Xi_t(j) \mathfrak{R}_t^1(j) + \Xi_t^K(j) \mathfrak{R}_t^2(j)] \\ + \beta^{t+1} [U_{t+1}(j) + \Xi_{t+1}(j) \mathfrak{R}_{t+1}^1(j) + \Xi_{t+1}^K(j) \mathfrak{R}_{t+1}^2(j)] + \dots \\ + \beta^{t+\infty} [U_{t+\infty}(j) + \Xi_{t+\infty}(j) \mathfrak{R}_{t+\infty}^1(j) + \Xi_{t+\infty}^K(j) \mathfrak{R}_{t+\infty}^2(j)] \} \end{aligned}$$

Siguiendo a CEE, el primer componente del ingreso del hogar será igual al ingreso laboral agregado y la utilidad marginal de la riqueza es idéntica para los diferentes tipos de hogares.

El ingreso por arrendamiento de los servicios de capital depende no solo del nivel de capital que se instaló en el último periodo, sino también

de su tasa de utilización ($Z_t(j)$). Como en Bechtold (2016), se supone que el costo de utilización del capital es cero (Y_t).

La tasa de interés está determinada por una función de reacción que describe decisiones de política monetaria. En el mercado de capitales, el equilibrio significa que la deuda pública está en manos de inversores nacionales a la tasa de interés del mercado R_t .

3. Estimación y resultados del modelo para México

Parámetros del modelo. La base de datos que se utiliza para la evaluación del modelo se conformó por medio de la información disponible en los portales de Banxico y el INEGI. La periodicidad establecida para estudio se determinó de forma mensual conforme a la disponibilidad de las variables propuestas. A partir del 31 de octubre de 2017, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) actualizó el año base de la información correspondiente al Sistema de Cuentas Nacionales de México a 2013. La serie de datos para los parámetros de cálculo son: consumo, tasa de interés, inflación, crecimiento, inversión, capital, trabajo, salarios, parámetros auxiliares.

Se realizan estudios en tres escenarios, en primera instancia se realiza una evaluación sobre la inflación objetivo y su interacción con el crecimiento, los otros dos escenarios evalúan estas dos características por separado, donde se presentan los resultados y sus diferencias.

3.1. Pronóstico evaluando la inflación objetivo y crecimiento

La distribución de este escenario expone los resultados del pronóstico que pondera la inflación y el crecimiento. La figura 1 presenta el comportamiento de la tasa de interés. La serie resultante del cálculo realizado presenta un proceso estadístico de variable estandarizada o normalizada para facilitar su análisis. El pronóstico de la política económica en el escenario propuesto para los siguientes doce meses presenta una expectativa de crecimiento moderado en la tasa de interés que debería ser implementado de forma moderada, de tal manera que su impacto se vea reflejado en el crecimiento. Asimismo, el pronóstico obtenido en la figura 2 sugiere una caída inicial que se extiende por dos periodos, sin embargo, el crecimiento a partir de este punto sugiere un periodo creciente que se puede extender durante los diez periodos siguientes. Por consiguiente, en los pronósticos esperados en un plazo de doce meses posteriores al estudio, partiendo del supuesto de no tener cambios estructurales o choques que alteren este pronóstico, se observa que en la economía mexicana con tasas de interés crecientes se puede generar un crecimiento en el ciclo económico.

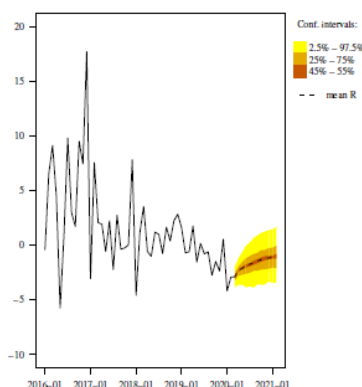


Figure 1

Pronóstico de la tasa de interés: R

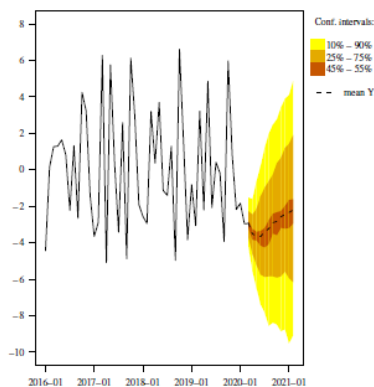


Figure 2

Pronóstico del ingreso: Y

Funciones de impulso-respuesta. Se exponen los diferentes comportamientos del consumo C, ingreso Y, capital K, inversión I y trabajo L, ante la influencia de los choques propuestos.

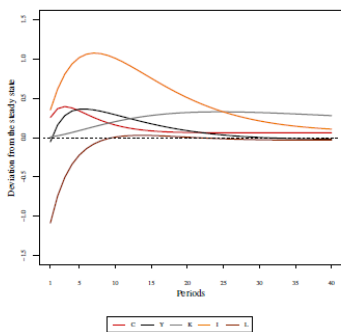


Figure 3

Choque inflación objetivo η^π

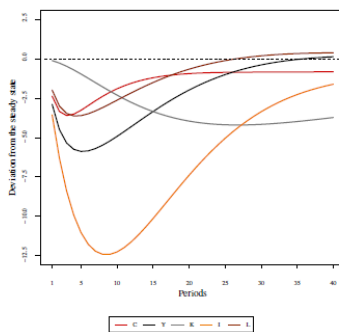


Figure 4

Choque de tasa de interés η^R

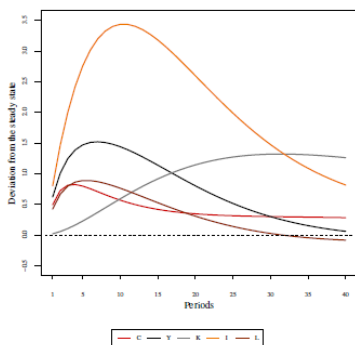


Figure 5

Choque de productividad η^a

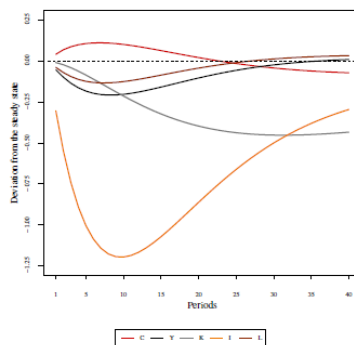


Figure 6

Choque de inversión η^I

La figura 3 muestra que las funciones impulso-respuesta y su impacto en las variables de estudio respecto a su estado estable, mostrando que el valor máximo generado por el choque del ingreso Y es de 0.35, asimismo, el choque sobre la inversión I es de 1.1. El consumo C tiene una variación de 0.40 y en menor medida el trabajo L en 0.05 para sus valores máximos,

cabe anotar que el trabajo presenta un valor inicial de -1.1. El capital K tiene un valor de 0.3, sin embargo, este valor máximo se alcanza hasta pasados 25 periodos y se sostiene en el tiempo. Es importante destacar entonces que con estos resultados se puede observar que la estabilidad de precios es más importante que mantener el crecimiento.

Respecto al choque que generan los cambios en la tasa de interés y que se observan en la figura 4, se destaca el cambio nominal en la tasa de interés, afectando la inversión I en -12.4, así como del ingreso Y -6.0. El consumo C tiene un retroceso -3.6, mismo valor que el trabajo L y el capital K de -3.8, pero a partir del periodo 20.

La figura 5 establece el impacto de un choque de productividad donde la inversión I máxima tiene un valor de 3.45 y, por consiguiente, el ingreso Y se ve afectado en un 1.5. De menor manera, el consumo C y el trabajo L se incrementan en 0.8 y 0.85, respectivamente; a pesar de este efecto menor que muestran los resultados, se destaca el efecto inmediato, esto podría dar indicios de que dichos cambios exógenos que provienen de una mayor productividad puedan tener efectos directos sobre el empleo, aun a pesar de que ante el choque las variables se estabilizan rápidamente hacia el equilibrio. Por último, el capital K presenta un valor de 1.3, si bien es mayor a las dos anteriores este valor máximo se presenta en el periodo 30.

La figura 6 muestra los resultados de choque de inversión. El consumo C presentaría un incremento con un valor máximo de 0.12, sin embargo, tanto el ingreso I como el trabajo L tienen un decremento de -0.2 y -0.125, respectivamente. La inversión I presenta una disminución de -1.3, acorde al tipo de choque a que está expuesto este rubro. El capital K decrece -0.125.

3.2. Pronóstico del modelo evaluando la inflación objetivo

La distribución propuesta expone los resultados del pronóstico que pondera solo la inflación. La figura 7 presenta el comportamiento de la tasa de interés. Así como en el resultado anterior, la serie fue tratada con el mismo proceso estadístico de variable estandarizada o normalizada para facili-

tar su análisis. El pronóstico de la política económica para los siguientes doce meses presenta una pendiente mayor a la evaluación anterior de la tasa de interés. El pronóstico obtenido en la figura 8 revela que si solo se toma este escenario, el crecimiento sugiere una caída inicial pronunciada durante los próximos seis meses y una posterior estabilización, pero sin tener el rebote esperado.

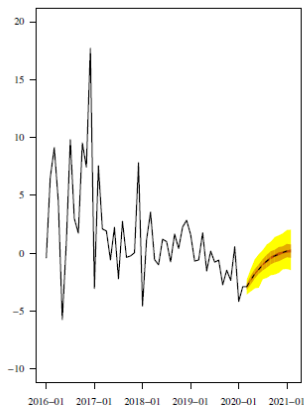


Figure 7

Pronóstico para la tasa de interés: R

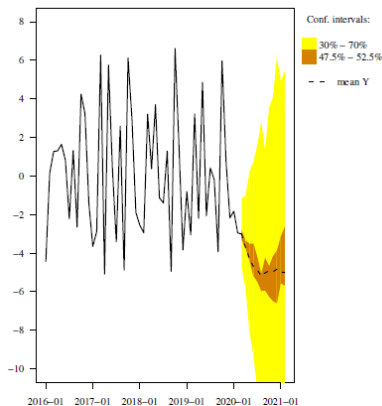


Figure 8

Pronóstico para el ingreso: Y

Funciones de impulso-respuesta. Se exponen los diferentes comportamientos del consumo C , ingreso Y , capital K , inversión I y trabajo L , ante la influencia de los choques propuestos.

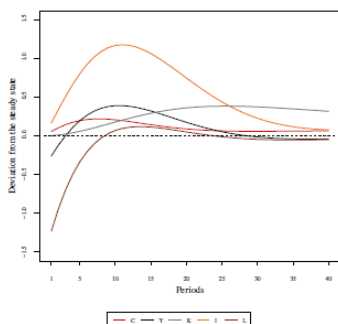


Figure 9

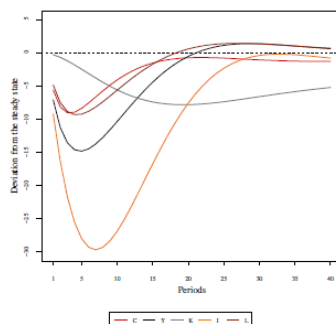


Figure 10

Choque inflación objetivo η^π

Choque de tasa de interés η^R

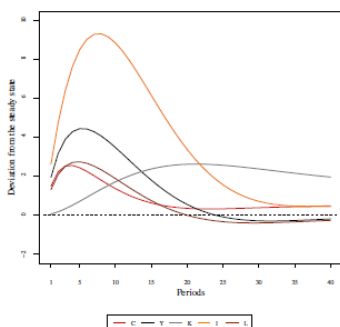


Figure 11

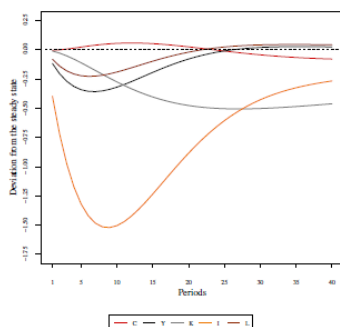


Figure 12

Choque de productividad η^a

Choque de inversión η^I

La figura 9 muestra que las funciones impulso-respuesta y su impacto en las variables de estudio respecto a su estado estable, mostrado que el valor máximo generado por el choque del ingreso Y es de 0.35, asimismo, el choque sobre la inversión I es de 1.2. El consumo C tiene una variación de 0.25 y en menor medida el trabajo L en 0.15 para sus valores máximos, cabe anotar que el trabajo presenta un valor inicial de -1.25. El capital K tiene un valor de 0.15, sin embargo, este valor máximo se alcanza hasta pasados 25 periodos y se sostiene en el tiempo. Es importante destacar

entonces que con estos resultados se puede observar que la estabilidad de precios es más importante que mantener el crecimiento.

Respecto al choque que generan los cambios en la tasa de interés y que se observan en la figura 10, se destaca el cambio nominal en la tasa de interés, afectando la inversión I en -9.0 , así como del ingreso Y -15.0 . El consumo C tiene un retroceso -9.0 , el valor del trabajo L es -9.5 , y el capital K de -3.8 , pero a partir del periodo 15.

La figura 11 establece el impacto del choque de productividad donde la inversión I máxima tiene un valor de 9.25 y, por consiguiente, el ingreso Y se ve afectado en un 4.5 . De menor manera, el consumo C y el trabajo L se incrementan en 2.5 y 2.5 , respectivamente, a pesar de este efecto menor que muestran los resultados, se destaca el efecto inmediato, esto podría dar indicios de que dichos cambios exógenos que provienen de una mayor productividad puedan tener efectos directos sobre el empleo, aun a pesar de que ante el choque las variables se estabilizan rápidamente hacia el equilibrio. Por último, el capital K presenta un valor de 2.5 , si bien es mayor a las dos anteriores, este valor máximo se presenta en el periodo 20.

Por último, la figura 12 muestra los resultados de choque de inversión. El consumo C presentaría un incremento con un valor máximo de 0.05 , sin embargo, tanto el ingreso Y como el trabajo L tienen un decremento de -0.365 y -0.25 , respectivamente. Y la inversión I presenta una disminución de -1.5 , acorde al tipo de choque a que está expuesto este rubro. El capital K decrece -0.5 .

3.3. Pronóstico del modelo evaluando el crecimiento

La distribución expone los resultados del pronóstico que pondera solo el crecimiento. La figura 13 presenta el comportamiento de la tasa de interés. Asimismo, la serie fue tratada con el mismo proceso estadístico de variable estandarizada o normalizada para facilitar su análisis, como en los escenarios anteriores. El pronóstico de la política económica para los siguientes doce meses presenta una pendiente con una pequeña diferencia a la evaluación anterior de la tasa de interés. El pronóstico obtenido en la figura 14 para el crecimiento es el mayor en los tres escenarios y, aunque revela, como en el primer escenario, una caída inicial en los dos primeros

meses, durante los próximos diez meses tiende a un crecimiento con una pendiente constante.

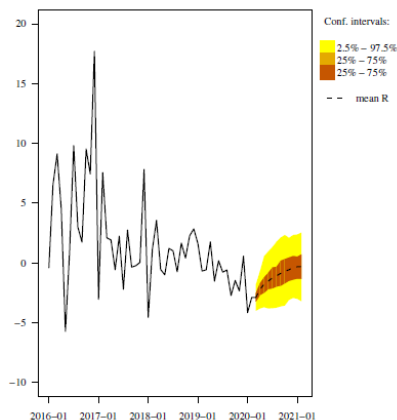


Figure 13

Pronóstico para la tasa de interés: R

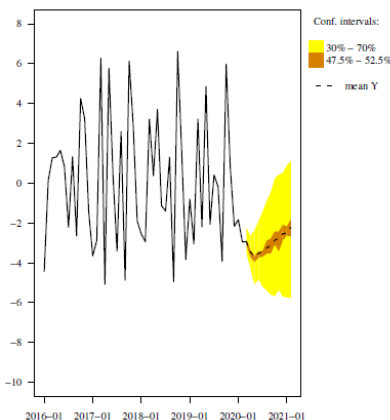


Figure 14

Pronóstico para el ingreso: Y

La figura 15 muestra que las funciones impulso-respuesta y su impacto en las variables de estudio respecto a su estado estable, mostrando que el valor máximo generado por el choque del ingreso Y es de 0.3, asimismo, el choque sobre la inversión I es de 1.1. El consumo C tiene una variación de 0.3 y, en menor medida, el trabajo L en 0.05, para sus valores máximos, cabe anotar que el trabajo presenta un valor inicial de -1.1. El capital K tiene un valor de 0.3, sin embargo, este valor máximo se alcanza hasta pasados 25 periodos y se sostiene en el tiempo. Es importante destacar entonces que con estos resultados se puede observar que la estabilidad de precios es más importante que mantener el crecimiento.

Funciones de impulso-respuesta. Respecto al choque que generan los cambios en la tasa de interés y que se observan en la figura 16, se destaca el cambio nominal en la tasa de interés, afectando la inversión I en -13.0, así como del ingreso Y -6.25. El consumo C tiene un retroceso -3.75, el valor del trabajo L es -3.75, y el capital K de -4.0, pero a partir del periodo 25.

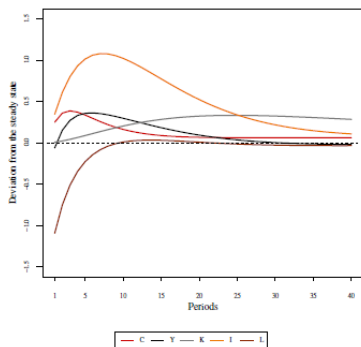


Figure 15

Choque inflación objetivo η^{π}

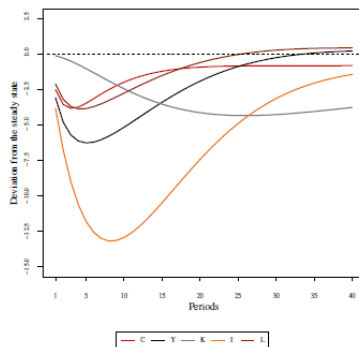


Figure 16

Choque de tasa de interés η^R

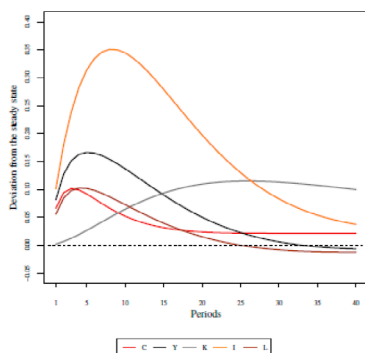


Figure 17

Choque de productividad η^a

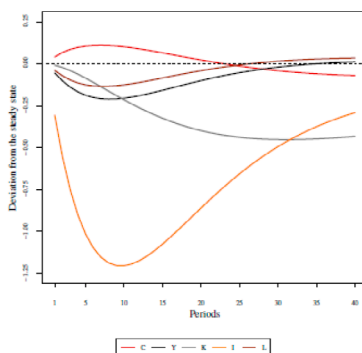


Figure 18

Choque de inversión esperada η^I

La figura 17 establece el impacto del choque de productividad donde la inversión I máxima tiene un valor de 0.35 y, por consiguiente, el ingreso Y se ve afectado en un 0.17. De menor manera, el consumo C y el trabajo L se incrementan en 0.1 de la misma forma, a pesar de este efecto menor que muestran los resultados, se destaca el efecto inmediato, esto podría dar indicios de que dichos cambios exógenos que provienen de una mayor productividad puedan tener efectos directos sobre el empleo, aun a pesar de que ante el choque las variables se estabilizan rápidamente hacia el

equilibrio. Por último, el capital K presenta un valor de 0.1, si bien es mayor a las dos anteriores, este valor máximo se presenta en el periodo 20.

Por último, la figura 18 muestra los resultados de choque de inversión. El consumo C presentaría un incremento con un valor máximo de 0.12, sin embargo, tanto el ingreso Y como el trabajo L tienen un decremento de -0.45 y -0.125, respectivamente. Y la inversión I presenta una disminución de -1.2, acorde al tipo de choque a que está expuesto este rubro. El capital K decrece -0.45.

3.4. Valoración del impacto impulso-respuesta generado por los choques en el escenario de evaluación del crecimiento e inflación combinados

Los cuadros presentan valores máximos de las gráficas impulso-respuesta para las variables del consumo C, ingreso I, capital K, ingreso I, y trabajo L, discriminado para los choques de productividad ha, tasa de interés hR, inflación objetivo hp, e inversión hI evaluados en tres escenarios. El primero considera la inflación y el crecimiento en su conjunto. El segundo tiene en cuenta solo inflación como objetivo, y el tercero solo el crecimiento.

Cuadro 1
Choque inflación objetivo η^{π}

	C	Y	K	I	L
Inflación y Crecimiento	0.40	0.35	0.30	1.10	0.05
Inflación	0.25	0.35	0.35	1.20	0.15
Crecimiento	0.30	0.30	0.30	1.10	0.05

En el cuadro 1 se expresan los valores máximos de la función impulso-respuesta para el choque de productividad, para el modelo de equilibrio general de sw-03 para la serie de datos trimestral, incluyendo la regla de Taylor para cada uno de los escenarios de estudio.

Ante la variación de la tasa de interés, evaluando el escenario de crecimiento y la inflación en conjunto, provocado por el choque de productividad, se observa que las funciones de impulso-respuesta obtienen su

máximo valor expresado entre el segundo y el quinto periodo, excepto para la función de capital K, donde su valor máximo se obtiene entre el veinteavo y el veinticincoavo periodo, posteriormente las funciones buscan estabilizarse en los periodos subsiguientes.

3.5. Valoración del impacto impulso-respuesta generado por los choques en el escenario de evaluación del crecimiento

En el análisis del caso generado por el choque de productividad, se observa en el comportamiento de la inflación y el crecimiento que tienen una dinámica igual al escenario planteado en el crecimiento, teniendo en cuenta que la evaluación de solo inflación tiene una disminución del consumo, menor trabajo, y tiende a tener una inversión un poco mayor. Asimismo, el valor del ingreso es igual para todos los casos, pero en la opción dos se tarda entre tres y cuatro periodos, comparado con sus pares, para obtener el valor máximo, y el capital no tiene variaciones significativas para los tres casos.

Cuadro 2
Choque de tasa de interés η^R

	C	Y	K	I	L
Inflación y Crecimiento	-3.60	-6.00	-3.80	-12.40	-3.60
Inflación	-9.00	-15.00	-7.50	-29.00	-9.50
Crecimiento	-3.75	-6.25	-4.00	-13.00	-3.75

En consecuencia, el cuadro 2 expresa los valores mínimos de la función impulso-respuesta para el choque de tasa de interés, generado en el modelo de equilibrio general de sw-03 para la serie de datos trimestral, incluyendo la regla de Taylor modificada para cada uno de los escenarios de estudio.

3.6. Valoración del impacto impulso-respuesta generado por los choques en el escenario de evaluación de la inflación

Asimismo, en el escenario de crecimiento y la inflación en conjunto, provocado por el choque de la tasa de interés del cuadro 2, las funciones de impulso-respuesta obtienen un valor mínimo expresado entre el segundo y el octavo periodo. Posteriormente, las funciones tienden a buscar estabilizarse en los periodos subsiguientes. Como en el caso anterior, la evaluación de inflación y crecimiento es igual al comportamiento de la evaluación con solo crecimiento, teniendo en cuenta que la dinámica de solo inflación, los valores consumo, ingreso, capital y trabajo tienden a tener el doble del valor de sus pares, y en la inversión el valor mínimo casi llega a ser el triple del mínimo considerado en los dos casos.

Cuadro 3
Choque de productividad η^a

	C	Y	K	I	L
Inflación y Crecimiento	0.80	1.50	1.30	3.45	0.85
Inflación	2.50	4.50	2.50	9.25	2.50
Crecimiento	0.10	0.17	0.12	0.35	0.10

En el cuadro 3 se plasman los valores máximos de la función impulso-respuesta para el choque de la inflación objetivo, generado en el modelo de equilibrio general de sw-03 para la serie de datos trimestral, incluyendo la regla de Taylor modificada para cada uno de los escenarios de estudio.

Evalando los diferentes escenarios en que se expresa el máximo valor entre el tercer y el décimo periodo en todos los casos excepto para la función de capital, donde su valor máximo se obtiene entre el veinteavo y el treintavo periodo, dando paso a que las funciones tiendan a buscar estabilizarse en los periodos subsiguientes. Las observaciones de los valores máximos para todos los casos se obtienen en el análisis realizado en el escenario de solo inflación, los valores medios se obtienen en el primer escenario y los valores residuales se obtienen para la evaluación

realizada en el escenario de solo crecimiento, teniendo en cuenta que en el escenario de solo inflación se tiene un aumento considerable en todos los rubros en comparación con sus contrapartes. También es necesario anotar que los valores máximos obtenidos en la evaluación de solo crecimiento tienden a ser marginales en comparación con los dos análisis anteriores.

Cuadro 4
Choque de inversión esperada η^I

	C	Y	K	I	L
Inflación y Crecimiento	0.12	-0.20	-0.45	-1.30	-0.125
Inflación	0.056	-0.365	-0.50	-1.50	-0.250
Crecimiento	0.12	-0.20	-0.45	-1.20	-0.125

El cuadro 4 plasma los valores mínimos de la función impulso-respuesta para el choque de inversión, generado en el modelo de equilibrio general de sw-03 para la serie de datos trimestral, incluyendo la regla de Taylor modificada para cada uno de los escenarios de estudio.

3.7. Comparación de pronósticos del análisis de cada alternativa

Los cuadros 5 y 6 exponen la comparación de los pronósticos de los tres casos de estudio para la tasa de interés y crecimiento. Por consiguiente, las propuestas proponen alternativas para establecer la inflación y el crecimiento de equilibrio, evaluados desde el punto de vista monetario, dada la recomendación hecha en sw-03 y las alternativas generadas en el análisis de política monetaria.

Cuadro 5
Pronóstico de la tasa de interés R

	20-02	20-04	20-06	20-08	20-10	20-12	21-02
Inf y Cre	-1.25	-1.30	-1.40	-1.55	-1.75	-1.95	-2.50
Inflación	-2.50	-1.25	0.85	0.00	0.25	0.40	0.50
Crecimiento	0.00	-0.20	-0.40	-0.80	-1.20	-1.80	-2.50

Cuadro 6
Pronóstico de crecimiento Y

	20-02	20-04	20-06	20-08	20-10	20-12	21-02
Inf y Cre	-3.10	-3.65	-3.80	-3.10	-2.80	-2.65	-2.20
Inflación	-3.10	-4.10	-4.60	-5.00	-4.80	-4.90	-5.00
Crecimiento	-3.10	-3.70	-3.10	-2.90	-2.30	-2.25	-2.10

Puesto que las series de las estimaciones están indexadas, presentan valores negativos, sin embargo, estos resultados muestran claras diferencias para los pronósticos de evaluación dadas sus características iniciales. Y dada la relación en los tres escenarios se puede hacer un comparativo del movimiento para tener en cuenta las diferentes consecuencias evaluando los escenarios en conjunto o de forma independiente para cada escenario.

4. Conclusiones

El modelo propuesto por sw-03 es parte del grupo de trabajos enfocados en el estudio de ciclos económicos monetarios. En la literatura se conocen como los modelos “neoclásicos, neokeynesianos”, donde los trabajos de Goodfriend & King (1997), Clarida *et al.* (2000), así como la investigación realizada por Rotemberg & Woodford (1997), son sus principales referentes. Galí (2002) destaca el esfuerzo que se debe realizar para la integración de las ideas que presenta la escuela neokeynesiana, en un marco metodológico con las herramientas econométricas a que los modelos de equilibrio general dinámico recurren para “proporcionar microfundamentos rigurosos” y su aplicabilidad tácita en el marco preexistente del entorno al cual se le esté haciendo el estudio; adicionalmente, en las conclusiones se menciona que la línea de investigación propuesta ha demostrado progresos significativos para desarrollar un marco estándar que pueda utilizarse de manera significativa para evaluar políticas monetarias alternativas. Por consiguiente, se ha generado un notorio interés por diferentes bancos

centrales que toman en práctica algunas de las nuevas conclusiones, ideas o características de estos modelos.

El presente estudio ha examinado la serie combinada con la evaluación de la política monetaria expresada en la investigación de Taylor (1999), que optimiza la dinámica del modelo con rigideces nominales con respecto a los vínculos entre la política monetaria, la inflación y el ciclo económico para tres escenarios diferentes, donde se realiza una comparación de ellos determinando la injerencia o ausencia entre ellos. Dentro de las condiciones del modelo, se evaluaron de forma conjunta dos choques propuestos en Klima *et al.* (2015), que se dividen en productividad y oferta de trabajo, tres choques de “demanda” repartidos en: preferencias e inversión, con el objeto de tener en cuenta los elementos estocásticos en los datos empíricos. Esta distribución canónica del modelo permite que las extensiones de los parámetros se puedan estimar por medio de las técnicas bayesianas utilizando los principales datos macroeconómicos proporcionados por el INEGI para los Estados Unidos Mexicanos, donde se incluyen producción, inflación, salarios reales, inversión, consumo, tasa de interés a corto plazo y empleo.

En sw-03 se explica el comportamiento prospectivo de la inflación, habiendo realizado las estimaciones de los parámetros, demostró la existencia de un grado de fijación de precios y salarios. Por consiguiente, tanto el precio como el salario dependen de sus valores inmediatamente anteriores. Aunque existen, se mencionan diferentes alternativas de choques disponibles, al incrementar su cantidad se tornan ineficientes y se hace menos evidente la diferencia que produce el diferencial de tasas de interés desde una perspectiva de política monetaria y, por consiguiente, recomienda hacer evaluación independiente como lo estructuró Klima *et al.* (2015). Siguiendo esta recomendación, este trabajo se enfoca en el modelo de la tasa de interés real y la modelación de su comportamiento que realice un pronóstico ajustado a la estadística de los datos disponibles.

En este trabajo de grado se ha mostrado cómo se puede adaptar y resolver el modelo DSGE expuesto en sw-03, introduciendo la regla de Taylor expuesta en Taylor (1999), utilizando el paquete gEcon. La implementación realizada por Klima *et al.* (2015) recrea una modelación de

tres escenarios donde se reflejan los datos económicos de México, permitiendo realizar un pronóstico independiente.

Pronóstico de crecimiento. Al analizar en conjunto los tres escenarios se pretende determinar el escenario donde el objetivo de política monetaria tenga un efecto que maximice el pronóstico de crecimiento. Realizando una evaluación que compare los pronósticos que generan los escenarios propuestos, los resultados demuestran que para minimizar el aumento de la inflación y maximizar el crecimiento es necesario tener en cuenta los dos factores al mismo tiempo, como se plantea en el primer ejemplo de este trabajo de grado. Si bien el modelo demuestra que la estabilidad de precios es trascendental para mantener el equilibrio. Si se consideran como factores independientes, analizando el sistema, se observa un estancamiento en el crecimiento en el segundo escenario que solo propone evaluar la inflación, este resultado demuestra que no se debe esperar una recomendación de que la política monetaria esté enfocada en el control de precios.

Es necesario tener en cuenta que en el segundo escenario se destaca que el resultado indica que un incremento más agresivo de la tasa objetivo deriva en una política monetaria que no permite el crecimiento, y continuaría un alejamiento de la senda de crecimiento y, por consiguiente, la disminución general de la actividad económica.

Al analizar el tercer escenario, donde solo se evalúa el crecimiento, los ajustes del pronóstico para el ajuste de tasa de interés tienden a ser muy bajos comparados en el corto plazo, sin embargo, pasados los periodos se estabilizan, igualándose con los resultados obtenidos en el primer escenario. Este resultado infiere que se debe enfatizar en una política monetaria enfocada en la inversión y que genere nuevos estímulos y crecimiento. Estas políticas deben ir enfocadas al cambio tecnológico que denote dónde se vea favorecido el empleo.

Recomendaciones a nuevas investigaciones. Los modelos DSGE han aumentado en notoriedad al realizar una integración con modelos monetarios. Se pretende configurar una valoración empírica en la siguiente fase investigativa, con base en datos del sector real que puedan ser valorados como un instrumento de análisis, por medio de las herramientas informáticas, que permitan verificar los resultados obtenidos en países

de economías en vía de desarrollo que tengan suficientes datos para el estudio de la siguiente fase de investigación. Al realizar la combinación de modelos DSGE y su inferencia bayesiana, tienen grandes perspectivas de crecimiento en el futuro cercano y por eso este tipo de estudios cobran relevancia. Sin embargo, aún existen importantes lagunas que deben ser resueltas al integrar este tipo de reglas que pueden afinar de alguna forma el modelo original. Las consideraciones iniciales dejan abiertas las bases con los fundamentos teóricos para establecer resultados de estimaciones bayesianas. Se puede considerar como la primera versión de un modelo dinámico de equilibrio general estocástico combinado con una política monetaria de economía cerrada.

Los esfuerzos en las fluctuaciones de frecuencia del ciclo económico de los principales agregados macroeconómicos que se presentan en el modelo original y su combinación con la regla de Taylor. Es probable que los desarrollos futuros del modelo también incorporen la dinámica a largo plazo. Se pudo observar bajo los resultados obtenidos que la inclusión de la regla de Taylor en el modelo DSGE es una solución viable para la construcción de política monetaria.

Bibliografía

- Adolfson, M., Laséen, S., Lindé, J., Villani, M., 2008. Evaluating an estimated new keynesian small open economy model. *Journal of Economic Dynamics and Control* 32, 2690-2721.
- Afanasyeva, E., Güntner, J., 2015. Lending standards, credit booms, and monetary policy.
- Batini, N., Jackson, B., Nickell, S., 2000. Inflation Dynamics and the Labour Share in the UK. Technical Report. External MPC Unit Discussion Paper.
- Bauwens, L., Lubrano, M., Richard, J.F., 2000. Bayesian inference in dynamic econometric models. OUP Oxford.
- Bechtold, S., 2016. Directive 2001/29/ec of the European parliament and of the council of 22 may 2001 on the harmonisation of certain aspects of copyright and related rights in the information society, en: *Concise European Copyright Law*. Kluwer Law International. Volumen 2, pp. 421-490.

- Binder, M., Lieberknecht, P., Quintana, J., Wieland, V., 2017. Model uncertainty in macroeconomics: On the implications of financial frictions.
- Brubakk, L., Husebø, T. A., Maih, J., Olsen, K., Østnor, M., 2006. Finding nemo: Documentation of the Norwegian economy model.
- Christoffel, K., Coenen, G., Warne, A., 2007. Conditional versus unconditional forecasting with the new area-wide model of the euro area.
- Clarida, R., Gali, J., Gertler, M., 2000. Monetary policy rules and macroeconomic stability: evidence and some theory. *The Quarterly Journal of Economics* 115, 147-180.
- Coenen, G., Erceg, C.J., Freedman, C., Furceri, D., Kumhof, M., Lalonde, R., Laxton, D., Lindé, J., Mourougane, A., Muir, D., *et al.*, 2012. Effects of fiscal stimulus in structural models. *American Economic Journal: Macroeconomics* 4, 22-68.
- Colander, D., Howitt, P., Kirman, A., Leijonhufvud, A., Mehrling, P., 2008. Beyond DSGE models: toward an empirically based macroeconomics. *American Economic Review* 98, 236-40.
- DeJong, D.N., Dave, C., 2011. *Structural macroeconometrics*. Princeton University Press.
- Dib, A., 2010. Banks, credit market frictions, and business cycles. Technical Report. Bank of Canada Working Paper.
- Dixit, A.K., Stiglitz, J.E., 1977. Monopolistic competition and optimum product diversity. *The American Economic Review* 67, 297-308.
- Erceg, C.J., Guerrieri, L., Gust, C.J., 2005. Sigma: a new open economy model for policy analysis.
- Erceg, C.J., Levin, A. T., *et al.*, 2001. Imperfect credibility and inflation persistence. Technical Report. Board of Governors of the Federal Reserve System (EE.UU.).
- Fatás, A., Mihov, I., 2001. The effects of fiscal policy on consumption and employment: theory and evidence.
- Fernandez-Villaverde, J., Rubio-Ramírez, J.F., 2001. Comparing dynamic equilibrium models to data.
- Gali, J., 1999. Technology, employment, and the business cycle: Do technology shocks explain aggregate productivity. *The American Economic Review* 89, 2490-271.
- , 2002. New perspectives on monetary policy, inflation, and the business cycle. Technical Report. National Bureau of Economic Research.

- Gali, J., Gertler, M., 2007. Macroeconomic modeling for monetary policy evaluation. *Journal of Economic Perspectives* 21, 25-46.
- Galí, J., Gertler, M., López-Salido, J.D., 2001. European inflation dynamics. *European Economic Review* 45, 1237-1270.
- Galí, J., López-Salido, J.D., Vallés, J., 2003. Technology shocks and monetary policy: assessing the fed's performance. *Journal of Monetary Economics* 50, 723-743.
- Gerali, A., Neri, S., Sessa, L., Signoretti, F.M., 2010. Credit and banking in a DSGE model of the euro area. *Journal of Money, Credit and Banking* 42, 107-141.
- Geweke, J., 1999. Using simulation methods for bayesian econometric models: inference, development, and communication. *Econometric Reviews* 18, 1-73.
- Goodfriend, M., King, R.G., 1997. The new neoclassical synthesis and the role of monetary policy. *NBER Macroeconomics Annual* 12, 231-283.
- Government, S., 2009. Presentation of the Project of General Budgets of the State 2009. V.A. Impresores S.A.
- Harberger, A.C., 2008. Lessons from monetary and real exchange rate economics. *Cato J.* 28, 225.
- Harrison, R., Nikolov, K., Quinn, M., Ramsay, G., Scott, A., Thomas, R., 2005. The Bank of England quarterly model. Bank of England, Londres.
- Klima, G., Podemski, K., Retkiewicz-Wijtiwiak, K., Sowińska, A.E., 2015. Smet-swouters' 03 model revisited-an implementation in gecon.
- Kollmann, R., 1996. The exchange rate in a dynamic-optimizing current account model with nominal rigidities: A quantitative investigation.
- Koop, G., Potter, S., 2004. Forecasting in dynamic factor models using bayesian model averaging. *The Econometrics Journal* 7, 550-565.
- Kumhof, M., Laxton, D., 2007. A party without a hangover? On the effects of us fiscal deficits. *IMF Working Papers*, wp/07/202.
- Kydland, F.E., Prescott, E.C., 1982. Time to build and aggregate fluctuations. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1345-1370.
- Landon-Lane, J.S., 1998. Bayesian Comparison of Dynamic Macroeconomics Models. Tesis de doctorado.
- Laxton, D., 2008. Getting to know the global economy model and its philosophy. *IMF Staff Papers* 55, 213-242.
- Leeper, E.M., Zha, T., 2001. Assessing simple policy rules: A view from a complete macroeconomic model. *Economic Review-Federal Reserve Bank of Atlanta* 86, 35.

- Long, J.B., Plosser, C.I., 1983. Real business cycles. *Journal of Political Economy* 91, 39-69.
- Lucas Jr., R.E., 1976. Econometric policy evaluation: A critique, en: Carnegie-Rochester conference series on public policy, Elsevier. pp. 19-46.
- Mankiw, N.G., 2006. The macroeconomist as scientist and engineer. *Journal of Economic Perspectives* 20, 29-46.
- Medina, J.P., Soto, C., *et al.*, 2007. Copper price, fiscal policy and business cycle in Chile. Banco Central de Chile.
- Peersman, G., Smets, F., 2001. The monetary transmission mechanism in the euro area: more evidence from VAR analysis (MTN conference paper).
- Perotti, R., 2002. Estimating the effects of fiscal policy in OECD countries.
- Pesenti, P., 2008. The global economy model: Theoretical framework. *IMF Staff Papers* 55, 243-284.
- Ralph, B., Artis, M., Peter, H., Catherine, M., 1993. Evaluating policy regimes, the Brookings Institution, Washington DC, USA, 1993. *Journal of Public Policy* 13, 397-398.
- Robert, C.P., Casella, G., 1999. *The Metropolis Hastings Algorithm*. Springer.
- Roberts, J.M., 1995. New keynesian economics and the Phillips curve. *Journal of Money, Credit and Banking* 27, 975-984.
- Rogoff, K., 1985. The optimal degree of commitment to an intermediate monetary target. *The Quarterly Journal of Economics* 100, 1169-1189.
- Rotemberg, J.J., Woodford, M., 1997. An optimization-based econometric framework for the evaluation of monetary policy. *NBER Macroeconomics Annual* 12, 297-346.
- Sargent, T.J., 1989. Two models of measurements and the investment accelerator. *Journal of Political Economy* 97, 251-287.
- Schorfheide, F., 2000. Loss function-based evaluation of DSGE models. *Journal of Applied Econometrics* 15, 645-670.
- Smets, F., Wouters, R., 2003. An estimated dynamic stochastic general equilibrium model of the euro area. *Journal of the European Economic Association* 1, 1123-1175.
- , 2007. Shocks and frictions in US business cycles: A bayesian DSGE approach. *The American Economic Review* 97, 586-606.
- Svensson, L.E., 1995. Optimal inflation targets, conservative central banks, and linear inflation contracts. Technical Report. National Bureau of Economic Research.

- Taylor, J.B., 1993. Discretion versus policy rules in practice, en: Carnegie- Rochester conference series on public policy, Elsevier. pp. 195-214.
- , 1999. A historical analysis of monetary policy rules, en: Monetary policy rules. University of Chicago Press, pp. 319-348.
- Taylor, J.B., Wieland, V., 2012. Surprising comparative properties of monetary models: Results from a new model database. *Review of Economics and Statistics* 94, 800-816.
- Tovar, C.E., 2009. DSGE models and central banks .
- Vlcek, M.J., Roger, M.S., 2012. Macrofinancial modeling at central banks: Recent developments and future directions. 12-21, International Monetary Fund.
- Walsh, C.E., 1995. Optimal contracts for central bankers. *The American Economic Review*, 150-167.
- Wieland, V., Afanasyeva, E., Kuete, M., Yoo, J., 2016. New methods for macrofinancial model comparison and policy analysis, en: *Handbook of Macroeconomics*. Elsevier. volume 2, pp. 1241-1319.

Avances en Economía Internacional, Finanzas y Desarrollo
se terminó de imprimir en septiembre de 2021
en los talleres gráficos de Ediciones de la Noche
Madero #687, Zona Centro
Guadalajara, Jalisco, México.

www.edicionesdelanoche.com



La economía internacional, las finanzas y el desarrollo económico han sido disciplinas académicas con escasas vinculaciones entre sí. Sin embargo, tras la crisis global de 2008 y la pandemia del COVID-19 en 2020, se ha renovado el interés por estudiar dichas disciplinas y sus relaciones. Particularmente, en este libro, “Avances de Economía Internacional, Finanzas y Desarrollo”, se compilan trece estudios relativos al estado del arte de dichas disciplinas y sus relaciones en donde participan académicos internos y externos, estudiantes y egresados vinculados al Cuerpo académico UDG-CA-826, “Temas de Economía Internacional, Finanzas y Desarrollo”, al programa de Doctorado en Estudios Económicos (DEEC), al Departamento de Métodos Cuantitativos (DMC) y al Centro de Investigación de Teoría Económica (CITEC) de la Universidad de Guadalajara.

DEEC | DOCTORADO EN
ESTUDIOS
ECONÓMICOS



C.I.T.E.C
Centro de Investigación de Teoría Económica



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas

ISBN 978-607-571-233-8



9 786075 712338