

Revista estudiantil de la Licenciatura en Economía,  
del Centro de Estudios Económicos de El Colegio de México

**VE**

**Almanaque  
Económico**

No. 1 , 2019

Análisis comparativo de la sostenibilidad de la deuda: El caso de Argentina y  
México

*Lizzeth Gómez Rodríguez, Alexis Manuel Cuenca Fitz*

Japón toma la iniciativa: El nuevo liderazgo japonés en Asia-Pacífico

*Karla Villalobos Cruz, Ivan López Martínez*

Síntesis del modelo de programación entera-mixta utilizado en la subasta de  
largo plazo del mercado eléctrico mayorista mexicano

*Iván Montenegro Gutiérrez*

Tendencias de la manufactura aditiva en la industria automotriz en el estado  
de Texas

*Beiry Ordaz Pérez*

Uso de redes neuronales para el pronóstico de la inflación en México

*Héctor Pedroza Robles*

Dirección	Pablo Derbez Loret de Mola	(Titular)
Contacto Externo	María Sabine Santana Sosa Miguel Angel Peña Portillo Paulina Araceli Bouchot Viveros	(Titular)
Diseño	Claudia Josselyn Barranco Santamaria Josefa Gómez Morín Calero José Daniel Gutiérrez Dorantes Fernando Herrera Pacheco	(Titular)
Evaluación	Carlos Arturo Charleston Domínguez Cristian Eduardo Gudiño García Arturo Herrera Pizarro Milton Rubin Sánchez	(Titular)
Redacción y estilo	Melannie Hernández Robles Oscar Alberto López Méndez	(Titular)
Tecnología	Gustavo Luna Flores	(Titular)

# Almanaque Económico

Revista Estudiantil

---

No. 1, 2019

---

Análisis comparativo de la sostenibilidad de la deuda: El caso de Argentina y México

*Lizzeth Gómez Rodríguez, Alexis Manuel Cuenca Fitz*

7

Japón toma la iniciativa: El nuevo liderazgo japonés en Asia-Pacífico

*Karla Villalobos Cruz, Ivan López Martínez*

19

Síntesis del modelo de programación entera-mixta utilizado en la subasta de largo plazo del mercado eléctrico mayorista mexicano

*Iván Montenegro Gutiérrez*

33

Tendencias de la manufactura aditiva en la industria automotriz en el estado de Texas

*Beiry Ordaz Pérez*

46

Uso de redes neuronales para el pronóstico de la inflación en México

*Héctor Pedroza Robles*

62

## Preámbulo

La revista estudiantil “Almanaque Económico” surgió como una idea de varios compañeros de la segunda generación de la Licenciatura en Economía en El Colegio de México. Desde entonces, también hemos contado con el esencial apoyo de varios compañeros de la tercera generación de la Licenciatura. La revista tiene como objetivo crear un espacio para acercar a los estudiantes de diversas instituciones al trabajo académico y compartir conocimientos de sus áreas de interés. También deseamos que esta publicación recompense la excelencia científica al nivel licenciatura y que fomente una cultura de entereza en el quehacer científico en la Economía. Finalmente, este proyecto busca crear y reforzar vínculos interuniversitarios entre estudiantes.

Como revista académica, tenemos el deber de ser honestos, transparentes e imparciales para poder acercarnos lo más posible a un conocimiento científico y crítico de la realidad. Por ello, Almanaque Económico cuenta con un proceso anónimo y plural de selección de textos.

Además, es nuestro deber combatir las tendencias perjudiciales en las publicaciones de Ciencias Sociales. Por ello, es política de la revista ser gratuita y abierta, exigir transparencia en metodología y resultados estadísticos para asegurar su reproducibilidad, y comprometerse a publicar resultados negativos, así como ser abiertos a críticas y reconocer errores.

Los textos seleccionados presentan distintos niveles de complejidad. Queremos que la publicación sea de interés para alumnos que están comenzando sus estudios universitarios, así como para aquellos en semestres más avanzados. Esto no representa un compromiso en términos de calidad, pues todos los artículos han pasado por el mismo riguroso proceso de selección.

Creemos que es esencial que la Economía pueda dialogar con otras disciplinas sobre temas en común para enriquecer su capacidad explicativa. Los fenómenos sociales no pueden entenderse en un vacío, independientemente del contexto político, legal, social, o histórico. Por lo tanto, decidir qué artículos podíamos considerar *Economía* y cuáles no fue un proceso arduo y contencioso.

Los artículos contenidos en este número tienen distintos enfoques, desde la ciencia política hasta los métodos de redes neuronales. El factor común es que todos tratan de temas tradicionalmente económicos: deuda, comercio, mercados, industria e inflación. Si bien la delimitación entre lo económico y lo no económico puede ser un tanto difusa, el equipo de Almanaque Económico hizo lo posible por llegar a una delimitación práctica que nos permitiera acoger distintos enfoques sin perder el rumbo.

El primer artículo, *Análisis comparativo de la sostenibilidad de la deuda: El caso de Argentina y México*, escrito por Lizzeth Gómez Rodríguez y Alexis Manuel Cuenca Fitz, ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México, comparan los patrones históricos de deuda de ambos países enmarcado en los Índice de Blanchard y el Índice de Sudden-Stop, que estiman la proporción de la deuda con respecto al PIB y la sensibilidad de la deuda ante fluctuaciones del tipo de cambio, respectivamente.

El segundo artículo, *Japón toma la iniciativa: El nuevo liderazgo japonés en Asia-Pacífico*, escrito por Karla Villalobos Cruz e Ivan López Martínez, los dos también de la Universidad Nacional Autónoma de México, describe la nueva configuración de los tratados comerciales en la región Asia-Pacífico en el contexto del CPTPP y explica las decisiones de política económica que han llevado a la región hasta este punto. Este estudio, hecho desde una

perspectiva internacionalista, nos permite apreciar como las decisiones diplomáticas que se toman día con día dan forma a los mercados internacionales que existirán en el futuro.

El tercer artículo, *Síntesis del modelo de programación entera-mixta utilizado en la subasta de largo plazo del mercado eléctrico mayorista mexicano*, escrito por Iván Montenegro Gutiérrez, de la Universidad Autónoma Metropolitana, explica de manera clara y concisa la teoría detrás del mecanismo de subastas de largo plazo en el mercado eléctrico mexicano.

El cuarto artículo, *Tendencias de la manufactura aditiva en la industria automotriz en el estado de Texas*, escrito por Beiry Ordaz Pérez, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, hace un análisis del desarrollo de la industria manufacturera de Texas, uno de los principales clientes de autopartes de México. La autora realiza un análisis concienzudo de la manufactura mediante impresión 3D y muestra los efectos económicos que ha tenido esta nueva tecnología en la manufactura automotriz.

Finalmente, el quinto artículo, *Uso de redes neuronales para el pronóstico de la inflación en México*, escrito por Héctor Pedroza Robles, de la Universidad Nacional Autónoma de México, expone un método de vanguardia para las predicciones inflacionarias. Esta metodología tiene numerosas ventajas, como su fácil implementación y su gran desempeño predictivo en términos de error cuadrado medio.

Me siento orgulloso de presentar el primer número de Almanaque Económico, fruto del intenso trabajo de sus miembros a lo largo de un año, y de valiosas aportaciones de estudiantes de distintas universidades de México. Tengo la esperanza de que este sea el primero de muchos números, y que este proyecto se consolide en una publicación de calidad a la altura de El Colegio de México.

Queremos agradecer a El Colegio de México y al Centro de Estudios Económicos por su apoyo a este proyecto. En particular, este proyecto no hubiera sido posible sin el apoyo de muchos profesores y administrativos de El Colegio de México. Queremos agradecer al Dr. Alejandro Idelfonso Castañeda Sabido, director del Centro de Estudios Económicos;

a la Dra. Laura Juárez González, coordinadora de la Licenciatura en Economía; a Canek Ramírez Devars, director de la Coordinación de Servicios de Cómputo; al Ing. Juan de Dios Zamora Chávez; al Dr. Luis Manuel Olivares Estrada, abogado general de El Colegio de México; al Lic. Alberto Hernández Navarrete; y al DCV. Héctor Daniel Borbón Acosta.

Agradecemos especialmente a los profesores que ayudaron en la revisión final de los textos.

Pablo Derbez Loret de Mola,  
Director de Almanaque Económico

# Análisis comparativo de la sostenibilidad de la deuda: El caso de Argentina y México

## A comparative analysis of debt sustainability: The case of Argentina and Mexico

Lizzeth Gómez Rodríguez, *Universidad Nacional Autónoma de México*  
Alexis Manuel Cuenca Fitz, *Universidad Nacional Autónoma de México*

### Resumen

Argentina y México son países en desarrollo cuya sostenibilidad de deuda presenta importantes diferencias. El presente trabajo analiza la capacidad de pago de la deuda de ambos países bajo el enfoque tradicional de Blanchard y el Sudden-Stop. Los resultados obtenidos indican que la composición de la deuda es muy importante para valorar su capacidad de pago. Este análisis muestra que, tanto en el periodo 2000-2007 como en el periodo 2010-2018, Argentina ha tenido una gran vulnerabilidad ante las crisis externas, puesto que su superávit fiscal ha estado muy por debajo del que propone el Índice de Blanchard. En contraste, desde la última década, la economía mexicana no se ha visto imposibilitada de pagar su deuda debido a que su superávit fiscal se ha encontrado dentro de los rangos propuestos por el Índice de Blanchard. Por estas razones, no se han observado grandes afectaciones en su capacidad de pago ante las crisis externas y la volatilidad cambiaria.

### Abstract

Argentina and Mexico are developing countries whose debt sustainability has important differences. This paper analyzes the debt repayment capacity of both countries under the traditional approach of Blanchard and the Sudden-Stop approach. The results obtained indicate that debt composition is very important to assess their ability to pay. This analysis shows that, both in the 2000-2007 period and in the 2010-2018 period, Argentina has been highly vulnerable to external crises, since its fiscal surplus has been well below that proposed by the Blanchard Index. In contrast, since the last decade, the Mexican economy has not been unable to pay its debt because its fiscal surplus has been within the ranges proposed by the Blanchard Index. For these reasons, there have been no major effects on their ability to pay in the face of external crises and exchange rate volatility.

**Keywords**— sostenibilidad de la deuda, Argentina, México, Blanchard, Sudden-Stop

**Palabras clave**— debt sustainability, Argentina, Mexico, Blanchard, Sudden-Stop



## Introducción

El estudio de la deuda de países en desarrollo ha sido uno de los temas más discutidos a lo largo de la historia, especialmente a partir de la década de 1980 (cuando Latinoamérica atravesó por severas crisis de deuda), ocasionando rigurosos cambios estructurales. Recientemente, el mundo ha tenido grandes coyunturas, sobre todo en regiones volátiles como América Latina.

Hace un par de años, la economía argentina quedó marcada por una crisis de deuda que explotó por la depreciación de su moneda ante el dólar. Los efectos de dicha crisis persisten en la actualidad, incluso cuando se pensaba que se habían superado este tipo de fenómenos. La reciente crisis argentina da paso a cuestionar la vulnerabilidad de México ante una crisis similar.

El presente artículo compara ambas economías emergentes en relación con la sostenibilidad de su deuda. Los periodos de estudio son de 2000 a 2007 y de 2010 a 2018, con la finalidad de analizar las diferencias de sostenibilidad de la deuda antes y después de la crisis internacional de 2008. Asimismo, distinguir las características de la estructura de deuda de cada país permitirá realizar un análisis más amplio y acertado.

La capacidad de sostenibilidad de las deudas se estima utilizando dos enfoques de medición: el indicador tradicional de Blanchard y el enfoque Sudden-Stop. El primero estima el superávit objetivo para poder mantener la proporción de la deuda-PIB en el largo plazo. El segundo valora la sensibilidad de la deuda ante variaciones en el tipo de cambio real (TCR) a partir del cálculo del desajuste cambiario. Este último indicador evalúa la capacidad de pago con base en la deuda emitida en divisas y la disponibilidad de bienes comerciables; por lo tanto, es de mayor utilidad en el análisis de países en desarrollo (pues estas economías son en su mayoría dependientes de la volatilidad cambiaria). Finalmente, se presentan los

resultados del análisis.

## Estimaciones de sostenibilidad de la deuda.

### Indicador tradicional: Blanchard

Una forma de analizar la sostenibilidad de la deuda gubernamental es comparar los egresos que tiene el país en relación con su capacidad de pago. Esto se logra utilizando el indicador de Blanchard.<sup>1</sup> Se trata de un indicador de sostenibilidad de deuda a largo plazo que mide el superávit fiscal permanente necesario para mantener la relación deuda-PIB constante. Esto significa que la deuda adquirida será sostenible siempre y cuando el superávit observado sea cercano al obtenido en el indicador de Blanchard, el cual se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\bar{S}_t = b_t(r_t - g_t) \quad (1)$$

Donde:

$\bar{S}_t$  = Superávit fiscal deseado como porcentaje del PIB para mantener la relación Deuda/PIB constante

$b_t$  = Relación Deuda/PIB     $r_t$  = Tasa de interés de la deuda<sup>2</sup>     $g_t$  = Tasa de crecimiento

Con la finalidad de hacer un mejor análisis del indicador, es conveniente estimar el promedio de las variables durante un determinado periodo de tiempo, puesto que permite

---

1. Olivier Jean Blanchard, «Suggestions for a New Set of Fiscal Indicators», número 79 (1990), doi:<https://doi.org/10.1787/435618162862>.

2. Calculada a partir del riesgo país y el valor de los bonos del tesoro de Estados Unidos.

tener una visión más certera.<sup>3</sup> Los periodos analizados son 2000-2007 y 2010-2018, con el objetivo de observar con mayor eficacia las diferencias de sostenibilidad de la deuda antes y después de la crisis. A continuación, se presentan los valores utilizados para la obtención del indicador.

	2000-2007	2010-2018
Deuda/PIB	87.46 %	46.43 %
Tasa de interés	32 %	9.7 %
Tasa de crecimiento	3.5 %	1.8 %
Superávit observado	3.2 % (2007)	-2.4 % (2018)
Superávit objetivo (Indicador de Blanchard)	25.22 %	3.66 %
Brecha	22.02	6.06

Cuadro 1: Economía Argentina

Fuente: Elaboración propia con datos del FMI, del Banco Mundial y de la OCDE

	2000-2007	2010-2018
Deuda/PIB	39.45 %	48.9 %
Tasa de interés	7 %	4.3 %
Tasa de crecimiento	2 %	3 %
Superávit observado	2.1 (2007)	0.6 (2018)
Superávit objetivo (Indicador de Blanchard)	1.86 %	0.65 %
Brecha	0.24	0.05

Cuadro 2: Economía Mexicana

Fuente: Elaboración propia con datos del FMI, del Banco Mundial y de la OCDE

En los cuadros 1 y 2 se observa que, en el periodo 2000-2007, Argentina debía tener un superávit 13 veces mayor que el de México si deseaba mantener la relación deuda-PIB constante; sin embargo, el superávit fue de 22 puntos porcentuales inferior al objetivo, por tanto, era de esperarse una alta participación de la deuda en el PIB. El alto nivel de requerimiento del superávit (25.22 %) se debió a la inestabilidad política y económica que sufrió Argentina en el 2001. Dicha inestabilidad desencadenó una crisis de deuda en diciembre del mismo año, dando origen al *Corralito*. Esta medida, llevada a cabo por el gobierno de Fernando de la Rúa, restringió la extracción de efectivo en los bancos con el objetivo de contener la fuga de capitales junto a las presiones inflacionarias, por lo que

3. El indicador de Blanchard es muy sensible ante las variables utilizadas, por ende, utilizar el promedio del periodo ayuda a suavizar las variables y llegar a un análisis más acertado.

terminó en una fuerte depreciación de la moneda argentina.

La figura 1 muestra que la deuda, como proporción del PIB, se disparó a partir de 2001, como consecuencia del fenómeno descrito anteriormente. La gráfica muestra también el proceso de estabilización en los años posteriores, el cual se debió al incremento del precio de las materias primas que Argentina exportaba, y a la política industrial llevada a cabo durante el gobierno de Néstor Kirchner. El aumento del valor de las exportaciones permitió que el gobierno aumentara su recaudación fiscal y, por consiguiente, redujera la deuda.

La figura 2 muestra que la economía mexicana experimentó una tendencia creciente y menos volátil que la argentina. Por esta razón, hubo una menor brecha entre el superávit observado y el objetivo, tanto en 2007 como en 2018; se puede inferir una sostenibilidad de deuda superior en México en comparación con la economía argentina (figura 3). Además, en 2018, la economía mexicana alcanzó un superávit primario muy cercano al requerido para mantener su capacidad de pago. Esto sugiere que México cuenta con una alta capacidad de ampliar el margen de endeudamiento, pues no se observan presiones en la sostenibilidad de la deuda.

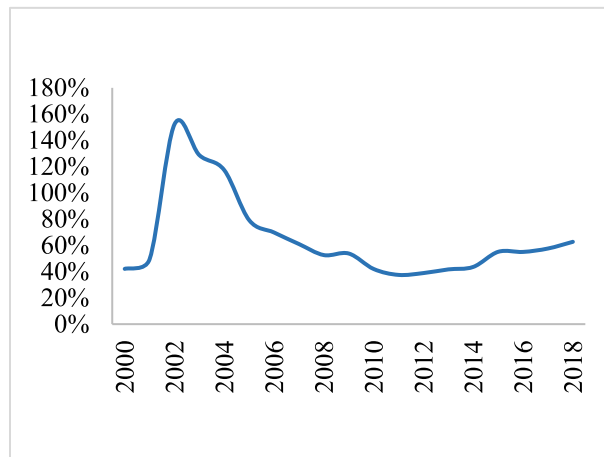


Figura 1: Evolución de la deuda como porcentaje del PIB en Argentina 2000-2018  
Fuente: Elaboración propia con datos del Fondo Monetario Internacional.

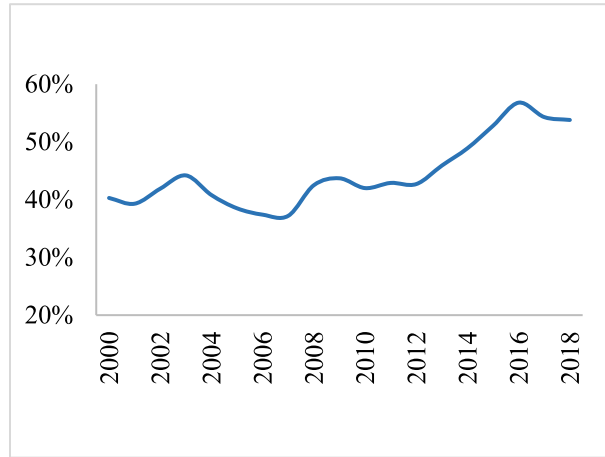


Figura 2: Evolución de la deuda como porcentaje del PIB en México 2000-2018  
Fuente: Elaboración propia con datos del Fondo Monetario Internacional.

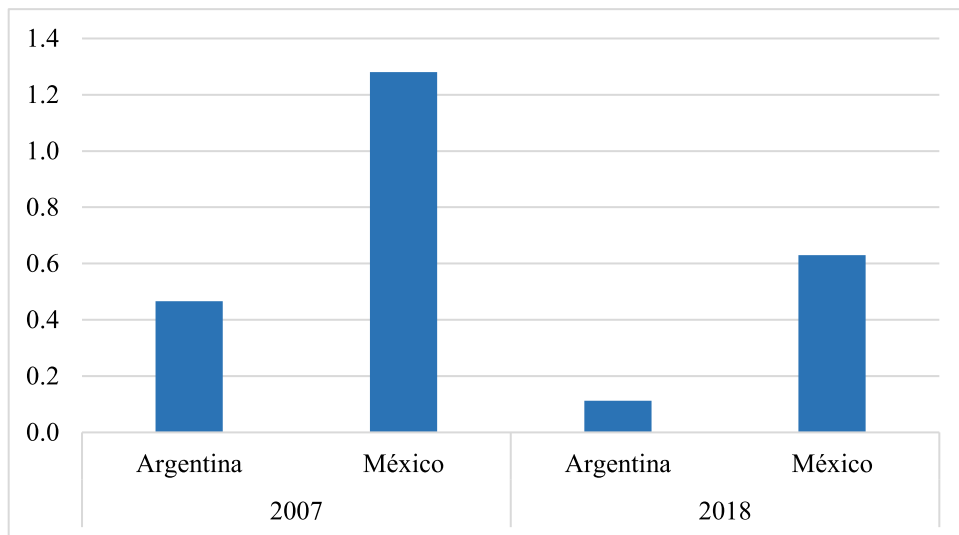


Figura 3: Indicador Tradicional de Blanchard  
Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Finanzas de Argentina

## Enfoque Sudden-Stop

Con el propósito de estudiar el efecto de una variación del Tipo de Cambio Real (TCR) en la deuda, se recurre al enfoque Sudden-Stop, el cual fue desarrollado por Guillermo Calvo.<sup>4</sup> Se trata de un índice formulado a partir de la relación entre la deuda, emitida en moneda nacional y extranjera, y la producción de bienes comerciables y no comerciables. Este enfoque mide la capacidad de pago de deuda de una economía que utiliza todo el capital económico que dispone. El desajuste cambiario se obtiene con base en la siguiente ecuación:

$$m = \frac{\frac{b}{eb^*}}{\frac{y}{ey^*}} \quad (2)$$

Donde:

$m$  = Descalce cambiario

$e$  = Tipo de Cambio Real

$b$  = Deuda emitida en moneda local

$b^*$  = Deuda emitida en moneda extranjera

$y$  = PIB no comerciable

$y^*$  = PIB comerciable

El indicador presenta valores alrededor de uno: si el valor de  $m = 1$  significa que la deuda puede pagarse haciendo uso de los recursos disponibles. Cuando  $m > 1$ , la deuda es poco sensible ante variaciones del TCR debido a que se dispone de una significativa cantidad de bienes comerciables; mientras que, cuando  $m < 1$ , la deuda puede ser insostenible ante cambios moderados del TCR. Cuando  $m$  tiene un valor más cercano a 0 o lejano a 1, el impacto de una variación del TCR es mayor, por lo que un país debe obtener valores ubicados por encima de la unidad para sostener su deuda.

4. Guillermo A. Calvo, «Capital Flows and Capital-Market Crises: The Simple Economics of Sudden Stops», *Journal of Applied Economics*, 1998, doi:10.7551/mitpress/2701.003.0017.

	2007	2018
Deuda pública emitida en moneda nacional (b)	215,296,530.3	2,084,717.54
Deuda pública emitida en moneda extranjera (b*)	240,453,957.2	6,737,734.93
PIB no comerciable (y)	497,836,002.2	9,047,276.00
PIB comerciable (y*)	258,999,279.6	3,301,740.00
Deuda/PIB	60 %	71.44 %
Descalce Cambiario	0.466	0.11

Cuadro 3: Economía Argentina

Fuente: Elaboración propia con datos del FMI, del Banco Mundial y de la OCDE

	2007	2017
Deuda pública emitida en moneda nacional (b)	1,881,419.396	7,036,273.24
Deuda pública emitida en moneda extranjera (b*)	575,492,992	3,982,939.03
PIB no comerciable (y)	7,952,263,851	16,429,573
PIB comerciable (y*)	3,114,909,068	5,857,249
Deuda/PIB	22 %	49.44 %
Descalce Cambiario	1.28	0.63

Cuadro 4: Economía Mexicana

Fuente: Elaboración propia con datos del FMI, del Banco Mundial y de la OCDE

Las figuras 4 y 5 muestran el gran problema de endeudamiento argentino durante el periodo estudiado. Debido al bajo valor del desajuste cambiario y a que la mayor parte de su deuda fue contraída en moneda extranjera, la deuda argentina tendía a ser más sensible a la volatilidad cambiaria. Por esto, la deuda se volvió difícil de sostener, provocando una crisis económica. Se observa que Argentina continuó contrayendo deuda en moneda extranjera hasta el primer trimestre de 2019 (incluso en mayor proporción que en los años anteriores), propiciando en gran medida la crisis de deuda 2018.

A diferencia de Argentina, México mantuvo relativamente estable su composición de deuda, la cual estaba conformada, en su mayoría, por moneda local. Es interesante observar que, hasta 2008, el peso relativo de la deuda en moneda extranjera fue disminuyendo en México. A partir de ese año (caracterizado por el desencadenamiento de una crisis financiera de impacto global), el porcentaje de la deuda en moneda extranjera aumentó, pero se mantuvo estable en un nivel menor al 40 %. Esto se debió a que la crisis financiera de 2008

provocó una depreciación del peso mexicano; sin embargo, este aumento no generó presiones sobre su sostenibilidad.

En contraste con Argentina, la capacidad de pago de México ha sido menos sensible a la volatilidad cambiaria, gracias a una baja composición en moneda extranjera. En consecuencia, los grandes efectos de la crisis no provocaron alta incapacidad de pago. Además, para el último trimestre se muestra que, aunque la composición de la deuda mexicana no es la más baja en moneda extranjera a lo largo del periodo, sí es baja en comparación con la de Argentina (lo que contribuye a la diferencia de capacidad de pago entre ambos países).

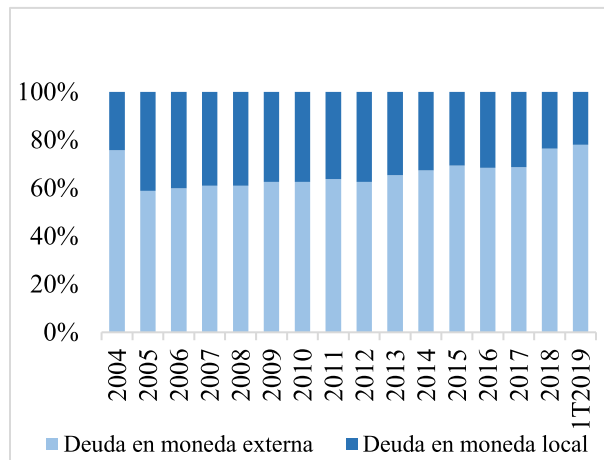


Figura 4: Composición de la Deuda en Argentina

Fuente: Elaboración propia con datos de SHCP y Secretaría de Finanzas Públicas de Argentina.

## Conclusiones

La economía argentina sufrió grandes complicaciones económicas, causadas por la composición de su deuda. Después de una depreciación de su moneda, dicha deuda afectó negativamente la capacidad de pago del país, pues la sensibilidad de la deuda con respecto al mercado cambiario era muy alta. En contraste, la economía mexicana, aunque sufrió un im-



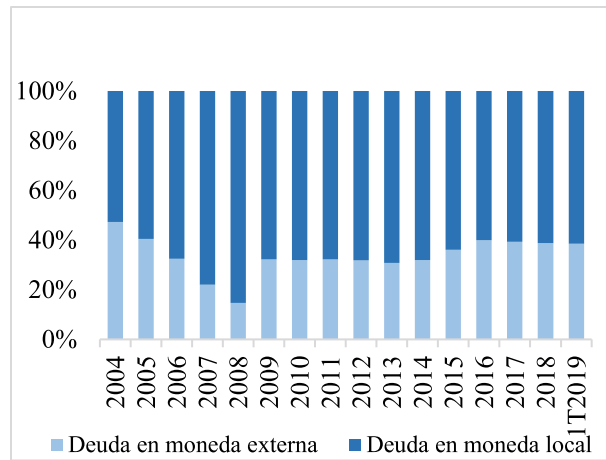


Figura 5: Composición de la Deuda en México

Fuente: Elaboración propia con datos de SHCP y Secretaría de Finanzas Públicas de Argentina.

portante efecto negativo debido a las crisis económicas, no comprometió la sostenibilidad de su deuda. Este hecho se logró gracias al bajo porcentaje de su deuda en moneda extranjera en relación con la deuda total.

Esto cuestiona el argumento de reducir el gasto para sostener la deuda, ya que la evidencia empírica, en el caso mexicano, indica que la sostenibilidad de la deuda no se encuentra comprometida, y la composición de la misma la puede hacer menos sensible ante la volatilidad del mercado cambiario. Si bien los resultados obtenidos no consideran la incertidumbre de la economía mexicana, la cual se ha intensificado en los últimos meses, la metodología utilizada revela la existencia de un amplio margen en la capacidad de endeudamiento.

Esto implicaría que México puede seguir manteniendo su capacidad de pago sin necesidad de un recorte fiscal; incluso podría aprovechar su margen de endeudamiento para ejercer políticas anti-cíclicas que permitan evitar una recesión. Recientemente, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) ha declarado que, al cierre de 2019, México conseguirá un superávit primario de 1%. Esta cifra está por encima del sugerido por el indicador de Blanchard, y es aún mayor si consideramos que una gran parte de su deuda se encuentra en

moneda nacional.

## Referencias

Blanchard, Olivier Jean. «Suggestions for a New Set of Fiscal Indicators», número 79 (1990).  
doi:<https://doi.org/10.1787/435618162862>.

Calvo, Guillermo A. «Capital Flows and Capital-Market Crises: The Simple Economics of Sudden Stops». *Journal of Applied Economics*, 1998. doi:10.7551/mitpress/2701.003.0017.

Fondo Monetario Internacional. *FMI Data*. Visitado 23 de noviembre de 2018. [https://www.imf.org/external/datamapper/GGXWDG\\_NGDP@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD/ARG](https://www.imf.org/external/datamapper/GGXWDG_NGDP@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD/ARG).

Organisation for Economic Co-operation and Development. *Long-term interest rates*. Visitado 20 de noviembre de 2018. <https://data.oecd.org/interest/long-term-interest-rates.htm>.

Secretaría de Finanzas. *World Bank Group*. Visitado 20 de noviembre de 2018. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>.

# Japón toma la iniciativa: El nuevo liderazgo japonés en Asia-Pacífico

## Japan takes the lead: Japan's new leadership in the Asia Pacific Region

Karla Villalobos Cruz, *Universidad Nacional Autónoma de México*

Ivan López Martínez, *Universidad Nacional Autónoma de México*

### Resumen

Después de la llegada de Donald Trump a la presidencia en 2017, Estados Unidos abandonó el Acuerdo Transpacífico de Cooperación Económica, TPP por sus siglas en inglés, luego de que el presidente lo caracterizó como un acuerdo comercial con beneficios limitados para el país. No obstante, persiste el interés por la preservación del acuerdo, y Japón ha tomado el liderazgo en la negociación de un nuevo acuerdo con el fin de mantener el sistema multilateral de comercio. El país asiático busca dejar atrás el proteccionismo y expandir su limitada participación en la región Asia-Pacífico a fin de fomentar la liberalización comercial en la región y, de esta forma, cumplir con dos objetivos: el primero es servir de contrapeso para el auge económico de la República Popular de China, la cual aspira a ser el nuevo líder regional. El segundo es atraer a Estados Unidos a la región, el cual ha virado hacia un modelo proteccionista y de negociación bilateral.

### Abstract

After Donald Trump became president in 2017, the United States dropped out of the Trans-Pacific Partnership (TPP), after the president framed it as trade deal whose benefits for the USA were limited. Nevertheless, there is an ongoing interest in keeping the deal alive, and Japan has taken the lead in the negotiations for a new trade deal in order to maintain the current multilateral trade system. Japan is interested in leaving behind their protectionism and expanding their participation in the Asia-Pacific. They are looking to foster trade liberalization in the region in order to attain two goals: first, to serve as a counterweight to China, the region's aspiring new leader and economic powerhouse. Second, to attract the United States back into the region after its turn towards a strategy of economic protectionism and bilateral negotiation.

**Palabras clave**— Japón, Política Comercial, Comercio regional, TPP, CPTPP, República Popular de China, Estados Unidos, Orden Económico

**Keywords**— Japan, Trade policy, Regional commerce, TPP, CPTPP, People's Republic of China, United States of America, Economic Order

## Introducción

Durante la administración de Barack Obama (2009-2017), Estados Unidos (EE. UU.) implementó la *política del pivote*<sup>1</sup> después de que la secretaria de estado, Hillary Clinton, reconociera en *America's Pacific Century* la gran importancia de la región Asia-Pacífico, y la creciente y preocupante influencia de la República Popular de China (RPCh) a nivel regional y mundial. En consecuencia, Estados Unidos impulsó la creación del Acuerdo Transpacífico de Cooperación Económica (TPP por sus siglas en inglés). Aun cuando la idea surgió en 2008 durante la administración George W. Bush, las negociaciones terminaron hasta 2015 y el acuerdo se firmó a principios de 2016. Los países miembros de dicho acuerdo eran Australia, Brunéi, Canadá, Chile, Japón, Malasia, México, Nueva Zelanda, Perú, Singapur, Vietnam y Estados Unidos. Este último país tenía el objetivo de mantener su influencia política y económica en la región tras la relevancia adquirida por la República Popular de China.<sup>2</sup>

El presidente estadounidense, Donald Trump, manifestó en repetidas ocasiones su inconformidad con el TPP; sin embargo, fue hasta su llegada a la presidencia en 2017 que pudo ordenar la salida del país de dicho acuerdo.<sup>3</sup> Por otro lado, los signatarios restantes decidieron renegociar el acuerdo, el cual fue nombrado Tratado Integral y Progresista de Asociación Transpacífico (CPTPP por sus siglas en inglés). El acontecimiento más sorprendente en esta negociación es el liderazgo que Japón ha asumido para mantener, en la medida de lo posible, los beneficios y compromisos del acuerdo original.

---

1. La política del pivote se refiere a un cambio en la política global estadounidense: su enfoque pasa de estar en Medio Oriente a la región Asia-Pacífico, buscando ser un contrapeso para la creciente República Popular de China y la amenaza que representa la expansión de su influencia: Pedro Monzón Barata, «Apuntes sobre la política de pivote de Estados Unidos en Asia Pacífico y la normalización de Japón», *Revista de Estudios Estratégicos*, número 4 (junio de 2017): 18-19, <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Cuba/cipi/20180131040947/apuntes.pdf>

2. James McBride y Andrew Chatzky, «What Is the Trans-Pacific Partnership (TPP)?», *Council on Foreign Relations*, 4 de enero de 2019, <https://www.cfr.org/backgrounders/what-trans-pacific-partnership-tpp>.

3. Adam Taylor, «A timeline of Trump's complicated relationship with the TPP», *The Washington Post*, 13 de abril de 2018, [https://www.washingtonpost.com/news/worldviews/wp/2018/04/13/a-timeline-of-trumps-complicated-relationship-with-the-tpp/?utm\\_term=.8d03d55da4a5&noredirect=on](https://www.washingtonpost.com/news/worldviews/wp/2018/04/13/a-timeline-of-trumps-complicated-relationship-with-the-tpp/?utm_term=.8d03d55da4a5&noredirect=on).

---

Históricamente, la política comercial de Japón no ha estado orientada hacia el libre mercado. Una de las razones es la presión de sectores económicos internos muy importantes, como la agricultura y la pesca, y su falta de disposición para abrir sus mercados a la competencia extranjera. Con base en lo anterior, se ha catalogado a Japón como una economía cerrada. Asimismo, el país asiático se ha caracterizado por su falta de liderazgo en su zona de influencia más cercana (el Sudeste Asiático). Ha optado por mantener relaciones económicas acordes al modelo multilateral de la Organización Mundial del Comercio (OMC) y sus respectivas rondas de reducción arancelarias. Además, se ha caracterizado por una tendencia a cooperar con Estados Unidos, lo que ha convertido a Japón en el puente de comunicación entre el país americano y la región del Sudeste Asiático.

La posición de Japón como líder en un acuerdo comercial como el renegociado TPP es reflejo de una transformación en las acciones del país, y los acontecimientos recientes insinúan que la defensa del sistema multilateral de comercio en la región del Sudeste Asiático corre a cargo del mismo. El objetivo de este artículo es mostrar a través de una cuidadosa revisión en la literatura, el cambio que ha tenido Japón en su política comercial, provocando que hoy en día sea éste el principal protector del orden económico a nivel regional.

## **Japón en el Sudeste Asiático: Recuento de la estrategia comercial**

En la región del Sudeste Asiático, Japón destaca por su extensa participación en la creación y el fomento de foros internacionales de gran importancia, tales como la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN por sus siglas en inglés) y el Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC por sus siglas en inglés). Las características particulares sobre el papel de Japón en estas iniciativas serán descritas en los siguientes párrafos.

Una vez recuperado de su derrota en la Segunda Guerra Mundial, Japón desempeñó un rol activo en la ASEAN. La estrategia japonesa se enfocó en el ámbito económico y, en la medida de lo posible, la evasión del uso de la fuerza militar.<sup>4</sup> La postura que Japón mantuvo frente a la asociación tuvo como base los tres principios de la Doctrina Fukuda, la cual fue desarrollada bajo el mandato del primer ministro Takeo Fukuda. Primero, Japón rechaza la idea de desempeñar un rol militar; segundo, se esforzará, a través de reuniones serias y formales, por instaurar relaciones cercanas entre las partes; tercero, tendrá una relación favorable con la ASEAN a la par de mantenerse en buenos términos con la región de Indochina.<sup>5</sup>

El objetivo de la doctrina era mantener relaciones económicas favorables con los países pertenecientes a la región del Sudeste Asiático para, de esta forma, promover el desarrollo económico y la modernización en los mismos. Asimismo, se buscó mitigar los conflictos entre los países comunistas de Indochina sin el uso de la milicia.<sup>6</sup> Los principios de la Doctrina Fukuda seguirían funcionando como eje rector en la relación entre Japón y la ASEAN en años posteriores.<sup>7</sup>

Años después, en 1989, se estableció la APEC. El foro contaría con la participación de Estados Unidos y Japón, actuando ambos como los promotores del modelo multilateral en la región Asia-Pacífico. Dentro de la APEC, Japón fue un aliado clave del país americano, y su función fue ser un puente de comunicación entre Washington y el Sudeste Asiático. Además, Japón destacó como donante para la Ayuda Oficial al Desarrollo (ODA por sus siglas en inglés): en 1991, las contribuciones de Japón alcanzaron los 11 billones de dólares, mientras que las contribuciones de Estados Unidos sólo llegaron a los 9.4 billones de dólares.<sup>8</sup>

---

4. Chaiwat Khamchoo, «Japans Role in Southeast Asian Security: "Plus ca Change ..."», *Pacific Affairs* 64, número 1 (Primavera 1991): 7, doi:10.2307/2760360.

5. Sueo Sudo, «Japan-ASEAN Relations: New Dimensions in Japanese Foreign Policy», *Asian Survey* 28, número 5 (mayo de 1988): 512, doi:10.1525/as.1988.28.5.01p0162r.

6. Khamchoo, «Japans Role in Southeast Asian Security: "Plus ca Change ..."», 10.

7. Sudo, «Japan-ASEAN Relations: New Dimensions in Japanese Foreign Policy», 522.

8. Yong Deng, «Japan in APEC: The Problematic Leadership Role», *Asian Survey* 37, número 4 (abril de 1997): 354, doi:10.1525/as.1997.37.4.01p0238t.

A pesar de lo anterior, los niveles de aceptación de Japón en el sudeste asiático eran bajos, puesto que los países de esta región no lo percibieron como un líder potencial; incluso catalogaron al país como un actor débil que no pugnaba por la integración en el Pacífico. Sin embargo, Japón fue desarrollando presencia a través del comercio y la inversión, donde las estrategias de negociación bilateral destacaron sobre las estrategias multilaterales.<sup>9</sup>

Durante la década de los noventa, Estados Unidos formuló una estrategia para posicionar a Japón como líder regional, de modo que Japón fue, una vez más, un aliado clave para el país americano. No obstante, los esfuerzos de Estados Unidos fueron insuficientes, y la posición de líder que ocuparía el país asiático fue postergada una vez más.<sup>10</sup>

La política de Japón no presentó cambios, incluso después de los ajustes en el orden mundial tras los incidentes del 11 de septiembre de 2001. Estados Unidos, en términos económicos, se alejó de la región del Sudeste Asiático para priorizar la guerra contra el terrorismo a nivel internacional, a la par que se enfocó en países con población árabe o musulmana. Estos acontecimientos provocaron que, finalmente, un nuevo actor tomara acción en la ASEAN: la República Popular de China.<sup>11</sup> No obstante, Estados Unidos respondería al liderazgo chino con la creación del Acuerdo Transpacífico de Cooperación Económica.

## Japón al mando: Del TPP al CPTPP

La crisis financiera asiática de 1997, incentivada y acelerada por la imposición de políticas neoliberales por parte del Fondo Monetario Internacional y Estados Unidos, generaron un resentimiento conjunto en los países asiáticos. Bajo estas circunstancias, Japón aspiró una vez más a la posición de líder regional, a través de la defensa del modelo de desarrollo asiático-

---

9. *Ibidem*, 361.

10. *Ibidem*, 362.

11. John Lee, «China's ASEAN Invasion», *The National Interest*, número 89 (junio de 2007): 40-46, ISSN: 08849382, 19381573, <http://www.jstor.org/stable/42896029>.



co<sup>12</sup> y, con el propósito de crear alternativas a los organismos internacionales occidentales, mediante la propuesta de crear el Fondo Monetario Asiático. Sin embargo, los esfuerzos del país asiático no fueron suficientes para servir de contrapeso a la relación Estados Unidos - Japón, cuya influencia impidió que se concretara la propuesta.<sup>13</sup>

En 2011, Japón, consciente de su posición de aliado con Estados Unidos y del auge de la República Popular de China, manifestó su interés en formar parte del TPP a través de una declaración del primer ministro, Yoshihiko Noda, quien pertenece al Partido Democrático de Japón.<sup>14</sup> Empero, la declaración fue mal recibida y criticada por la oposición: el Partido Liberal Democrático y sus seguidores, los cuales estaban conformados por pequeños y medianos empresarios, y actores de los sectores agrícola, pesquero y automotriz. Como ejemplificación, está el caso del sector agrícola y las denominadas cinco áreas sagradas: lácteos, trigo, arroz, carne de res y puerco, y azúcar, cuya liberalización comercial resulta complejo divisar.<sup>15</sup>

El desacuerdo al interior de Japón fue desmesurado, lo cual obligó al presidente estadounidense, Barack Obama, a realizar una declaración en conjunto con el primer ministro japonés, Yoshihiko Noda, en la cual calificaron la participación del país asiático en el TPP como elemental y tácita para el mantenimiento de la paz y la estabilidad regional.<sup>16</sup>

---

12. De acuerdo con Yong Wonk Lee, se puede entender al modelo de desarrollo asiático a partir de la identidad asiática que inspira los procesos de integración en la región. Estos principios de identidad son institucionalizados para así dictar la manera en que se toman las decisiones basados en cómo ven al mundo y su rol en el mismo. En el ámbito económico, se dieron propuesta que permitirían el desarrollo neoliberal en el Este de Asia sin la necesidad de la intervención estadounidense. Véase Yong Wook Lee, «Regional Financial Solidarity without the United States: Contested Neoliberalism in East Asia», *EAI Asia Security Initiative*, número 1 (septiembre de 2009): 1-32, <https://www.files.ethz.ch/isn/137903/2009111313433753.pdf>

13. *Ibidem*, 2-11.

14. Natsuko Fukue, «Japan will join TPP dialogue, Noda decides», *The Japan Times*, 12 de noviembre de 2011, <https://www.japantimes.co.jp/news/2011/11/12/national/japan-will-join-tpp-dialogue-noda-decides/#.XR6cCZNKjjA>.

15. T.J. Pempel, «Japan in the driver's seat? Reshaping the regional trade order without the United States», *Joint U.S.- Korea Academic Studies*, número 29 (julio de 2018): 211, 219, [http://www.keia.org/sites/default/files/publications/jukas\\_3.2\\_japan\\_in\\_the\\_drivers\\_seat.pdf](http://www.keia.org/sites/default/files/publications/jukas_3.2_japan_in_the_drivers_seat.pdf).

16. Juan José Ramírez Bonilla, «La competencia Estados Unidos-China : el Trans-pacific Partnership Agreement vs. el Acuerdo de Libre Comercio China-Corea-Japón», en *China y su entorno geopolítico. Políticas e Instituciones de la integración regional*, editado por Juan José Ramírez Bonilla y Francisco Javier Haro Navejas (El Colegio de México, Centro de Estudios de Asia y África, 2014), 59.

A pesar de ello, fue hasta el retorno del Partido Liberal Democrático en 2012, que el primer ministro Shinzo Abe anunció el compromiso y reafirmó el interés de Japón por integrarse a las negociaciones del acuerdo. Los objetivos de la integración fueron fortalecer la economía japonesa mediante la liberación comercial de determinados sectores, así como la preservación del orden económico internacional.<sup>17</sup> El compromiso de Japón con el TPP se confirmó cuando éste se convirtió en uno de los primeros países en aprobar el acuerdo final en noviembre de 2016.<sup>18</sup>

El ímpetu con el que trabajó Shinzo Abe en el TPP respondió a dos tópicos: el nacional y el internacional. En el ámbito nacional, se implementó una nueva estrategia económica, nombrada Abenomics, la cual ha buscado la flexibilización monetaria, el estímulo fiscal y la reestructuración económica. La estrategia se diseñó con el objetivo de incentivar el crecimiento económico japonés posterior a las últimas dos décadas de aletargamiento.<sup>19</sup> En lo que respecta al internacional, buscó la expansión del activismo y la influencia japonesas, en el mundo y dentro de la región, para reducir la brecha entre Japón y el resto de los participantes en los distintos acuerdos comerciales; además, se consideró reforzar la relación bilateral con Estados Unidos.<sup>20</sup>

En suma, Shinzo Abe esperaba que el TPP sirviera como herramienta para la reestructuración económica nacional y, por consiguiente, para el crecimiento, mediante la liberalización gradual de los sectores nacionales más protegidos. Al mismo tiempo, se trató de incrementar la influencia de Japón a nivel internacional, especialmente con Estados Unidos y los países pertenecientes a su zona de influencia más cercana, con el fin de contener el auge

---

17. Shinzo Abe, *Press Conference by Prime Minister Shinzo Abe (Speeches and Statements by Prime Minister)*, visitado 28 de junio de 2019, [https://japan.kantei.go.jp/96\\_abe/statement/201303/15kaiken\\_e.html](https://japan.kantei.go.jp/96_abe/statement/201303/15kaiken_e.html).

18. Kaori Kaneko y Yoshifumi Takemoto, *Japan ratifies TPP trade pact to fly the flag for free trade*, 8 de diciembre de 2016, <https://www.reuters.com/article/us-japan-tpp/japan-ratifies-tpp-trade-pact-to-fly-the-flag-for-free-trade-idUSKBN13YOCU>.

19. Christina L. Davis, «Japan: Interest Group Politics, Foreign Policy Linkages, and TPP», en *Megaregulation Contested: Global Economic Ordering After TPP*, editado por Benedict Kingsbury y col. (Oxford University Press, junio de 2019), 18-19, doi:10.1093/oso/9780198825296.001.0001.

20. Pempel, «Japan in the driver's seat? Reshaping the regional trade order without the United States», 213.

de la República Popular de China. Con todo, la serie de acciones realizadas por Estados Unidos bajo el mandato de Donald Trump perturbaron la política internacional, en especial el aspecto económico-comercial con la priorización de las relaciones bilaterales sobre los acuerdos e instituciones multilaterales. Japón se ha visto afectado por las nuevas medidas estadounidenses, y esto fue lo que condujo al país asiático a tomar el liderazgo en el nuevo acuerdo, el CPTPP, visualizando en este proyecto una posibilidad viable de dar continuidad a sus estrategias y, de esta forma, cumplir con sus objetivos nacionales.

## **Liderazgo japonés: el CPTPP como instrumento de integración**

A pesar de lo atractivo que resultó el TPP para Japón, y de sus esfuerzos por acelerar la ratificación del acuerdo, el mandatario estadounidense, Donald Trump, concretó la salida de Estados Unidos del TPP después de caracterizarlo como un acuerdo comercial con beneficios limitados para el país.<sup>21</sup> El TPP, en términos geoestratégicos, tenía como finalidad hacer un bloqueo regional a la República Popular de China, es decir, incitar al gigante asiático a someterse a las reglas del comercio internacional, pues se consideraba como una potencia económica por su acelerado crecimiento en los últimos años.<sup>22</sup>

El abandono de Estados Unidos del TPP provocó incertidumbre y desconfianza en las once naciones restantes; comenzó a verse poco viable y redituable continuar con un acuerdo comercial sin la presencia estadounidense. Además, su ausencia dio un amplio marco de acción a la estrategia de contragolpe de la República Popular de China, la cual ha buscado concretar sus propios proyectos en la región para liderar el establecimiento de nuevas reglas de comercio dentro de la misma. El mayor ejemplo de ello es la Asociación Económica

---

21. Taylor, «A timeline of Trump's complicated relationship with the TPP».

22. Davis, «Japan: Interest Group Politics, Foreign Policy Linkages, and TPP», 12.

Integral Regional (RCEP por sus siglas en inglés) que busca integrar a los 10 países de la ASEAN (Indonesia, Laos, Malasia, Myanmar, Filipinas, Vietnam, Singapur, Tailandia, Camboya y Brunéi), así como a Japón, China, Corea del Sur, India, Australia y Nueva Zelanda, a través del liderazgo chino.<sup>23</sup>

En respuesta a las acciones de Estados Unidos y China, Japón decidió continuar con las charlas del TPP junto a los miembros restantes, hasta que se logró concluir el CPTPP. El texto sufrió modificaciones y suspensiones a cláusulas del acuerdo original, dando un total de 22 suspensiones en temas en los que Estados Unidos había presionado, tales como los mecanismos de solución de controversias, en el caso de la inversión, y los derechos de autor. De todos modos, la esencia del acuerdo se conservó en áreas estratégicas como el comercio digital, el medio ambiente, el sector laboral y las empresas estatales.<sup>24</sup> Finalmente, el nuevo acuerdo se firmó el 8 de marzo de 2018 en Santiago de Chile.<sup>25</sup> La entrada en vigor del acuerdo fue el 30 de diciembre del mismo año en seis países signatarios (México, Japón, Singapur, Nueva Zelanda, Australia y Canadá), los cuales ratificaron el acuerdo a nivel nacional.<sup>26</sup>

La estrategia japonesa tuvo como objetivo reducir la participación de China en el comercio regional, no con la intención de generar un bloqueo permanente, sino para persuadir a la República Popular de China para que ésta cumpla con los estándares internacionales propuestos en los foros multilaterales y regionales; sin embargo, eso implicaría cambios drásticos al interior de China. Asimismo, el liderazgo de Japón en el CPTPP buscó llamar la atención de Estados Unidos para generar interés en la región y, de esta manera, ambas naciones buscarían preservar el orden económico actual en el Asia-Pacífico ante la creciente

---

23. Yanaisy Sanchez, «La salida de los Estados Unidos del TPP: Reacciones y posibles escenarios», *Revista Cubana de Economía Internacional*, número 1 (2017): 6, <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Cuba/cieiu/20170531125614/Lasalidadeestadosunidosdeltppreaccionesyposiblesescenarios.pdf>.

24. Davis, «Japan: Interest Group Politics, Foreign Policy Linkages, and TPP», 26-27.

25. Sistema de Información sobre Comercio Exterior, *Acuerdo Amplio y Progresista de Asociación Transpacífico (CPTPP) - Australia, Brunei Darussalam, Canadá, Chile, Japón, Malasia, México, Nueva Zelanda, Perú, Singapur y Vietnam*, visitado 13 de julio de 2019, [http://www.sice.oas.org/TPD/TPP/TPP\\_s.ASP](http://www.sice.oas.org/TPD/TPP/TPP_s.ASP).

26. Roberto Morales, *El CPTPP entrará en vigor el 30 de diciembre*, 31 de octubre de 2018, <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/El-CPTPP-entrara-en-vigor-el-30-de-diciembre-20181030-0152.html>.

y amenazante República Popular de China.

## Conclusiones

La participación de Japón en la Segunda Guerra Mundial, su política económica proteccionista, y su trato con la región de Asia-Pacífico basado en la Doctrina Fukuda, específicamente en el Sudeste de Asia, provocaron que este país fuera percibido como poco confiable. Además, los países se mostraron renuentes a colaborar con el país asiático pese a su destacada posición a nivel mundial. Sin embargo, Japón ha demostrado estar dispuesto a dejar atrás el pasado y hacer frente al gran auge de la República Popular de China, incluso si esto significa no contar con el apoyo de Estados Unidos en un acuerdo tan importante como el TPP.

Con la promoción del nuevo acuerdo, Shinzo Abe ha buscado satisfacer sus intereses, a nivel nacional e internacional, mediante la promoción de la apertura gradual de los sectores más protegidos dentro de la economía japonesa. El objetivo es fijar redes comerciales en la zona y, de este modo, expandir la influencia japonesa y, al mismo tiempo, estimular el crecimiento económico. El cambio en la política comercial de Japón ha generado diversas discusiones, mayormente por el cambio sustancial de un modelo proteccionista a uno que defiende el libre mercado y promueve el multilateralismo.

Si bien el CPTPP es la apuesta más grande, Japón parece estar dispuesto a participar en otras iniciativas multilaterales económicas a fin de contener, al menos a nivel regional, a la República Popular de China y, de esta manera, mantener el orden económico actual. Dicho orden fue promovido en gran parte por Estados Unidos y la Organización Mundial del Comercio.

---

Preservar las reglas del juego a su favor y contrarrestar los efectos del contexto actual, en el que existe un repliegue hacia el proteccionismo, resulta de vital importancia para Japón. El país está defendiendo su rol en la política internacional haciendo frente a las dos economías más grandes del mundo (Estados Unidos y la República Popular de China), las cuales tienen diferencias sustanciales en sus estrategias globales. Por ello, no es de extrañar que Japón continuase con la estrategia del TPP (ahora CPTPP) para concretar su objetivo de lograr un balance en la región donde, primero, se contenga el auge de la República Popular de China y, después, se tenga el apoyo de Estados Unidos para promover el desarrollo regional. Al respecto es necesario reflexionar si le será posible a Japón mantener el rol de líder eficaz en las siguientes décadas.

Si bien Japón ha tenido éxito en promover un acuerdo de tal magnitud como lo es el CPTPP, su papel regional no está del todo determinado. Es necesario que el país asiático continúe trabajando en posicionarse como líder al interior de la región, pues otros países como la República de Corea y la República Popular de China están buscando, de igual manera, mantener y expandir su influencia. Actualmente, Japón trabaja en el desarrollo de un acuerdo de libre comercio con la República Popular de China y la República de Corea (CJK-FTA por sus siglas en inglés). Sin embargo, las negociaciones se encuentran estancadas debido a la poca convergencia de intereses entre las tres naciones y la reciente contienda comercial entre los gobiernos de Tokio y Seúl. El CJK-FTA ofrecerá una oportunidad más para Japón, pues mediante la consumación de este acuerdo podría demostrar sus habilidades como líder y promotor del libre mercado y de los mecanismos multilaterales. En futuros debates, será necesario evaluar el avance del caso japonés en la región de Asia-Pacífico, ya que parece ser que esta vez no quiere volver a perder su protagonismo en la escena global y, mucho menos, el estatus del que goza, producto del orden económico actual.

## Referencias

- Abe, Shinzo. *Press Conference by Prime Minister Shinzo Abe (Speeches and Statements by Prime Minister)*. Visitado 28 de junio de 2019. [https://japan.kantei.go.jp/96\\_abe/statement/201303/15kaiken\\_e.html](https://japan.kantei.go.jp/96_abe/statement/201303/15kaiken_e.html).
- Davis, Christina L. «Japan: Interest Group Politics, Foreign Policy Linkages, and TPP». En *Megaregulation Contested: Global Economic Ordering After TPP*, editado por Benedict Kingsbury, David M. Malone, Paul Mertenskötter, Richard B. Stewart, Thomas Streinz y Atsushi Sunami, 573-591. Oxford University Press, junio de 2019. doi:10.1093/oso/9780198825296.001.0001.
- Deng, Yong. «Japan in APEC: The Problematic Leadership Role». *Asian Survey* 37, número 4 (abril de 1997): 353-367. doi:10.1525/as.1997.37.4.01p0238t.
- Fukue, Natsuko. «Japan will join TPP dialogue, Noda decides». *The Japan Times*, 12 de noviembre de 2011. <https://www.japantimes.co.jp/news/2011/11/12/national/japan-will-join-tpp-dialogue-noda-decides/#.XR6cCZNKjJA>.
- Información sobre Comercio Exterior, Sistema de. *Acuerdo Amplio y Progresista de Asociación Transpacífico (CPTPP) - Australia, Brunei Darussalam, Canadá, Chile, Japón, Malasia, México, Nueva Zelandia, Perú, Singapur y Vietnam*. Visitado 13 de julio de 2019. [http://www.sice.oas.org/TPD/TPP/TPP\\_s.ASP](http://www.sice.oas.org/TPD/TPP/TPP_s.ASP).
- Kaneko, Kaori, y Yoshifumi Takemoto. *Japan ratifies TPP trade pact to fly the flag for free trade*, 8 de diciembre de 2016. <https://www.reuters.com/article/us-japan-tpp/japan-ratifies-tpp-trade-pact-to-fly-the-flag-for-free-trade-idUSKBN13YOCU>.
- Khamchoo, Chaiwat. «Japans Role in Southeast Asian Security: "Plus ca Change ..."» *Pacific Affairs* 64, número 1 (Primavera 1991): 7. doi:10.2307/2760360.

- Lee, John. «China's ASEAN Invasion». *The National Interest*, número 89 (junio de 2007): 40-46. ISSN: 08849382, 19381573. <http://www.jstor.org/stable/42896029>.
- Lee, Yong Wook. «Regional Financial Solidarity without the United States: Contested Neoliberalism in East Asia». *EAI Asia Security Initiative*, número 1 (septiembre de 2009): 1-32. <https://www.files.ethz.ch/isn/137903/2009111313433753.pdf>.
- McBride, James, y Andrew Chatzky. «What Is the Trans-Pacific Partnership (TPP)?» *Council on Foreign Relations*, 4 de enero de 2019. <https://www.cfr.org/background/what-trans-pacific-partnership-tpp>.
- Monzón Barata, Pedro. «Apuntes sobre la política de pivote de Estados Unidos en Asia Pacífico y la normalización de Japón». *Revista de Estudios Estratégicos*, número 4 (junio de 2017): 13-40. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Cuba/cipi/20180131040947/apuntes.pdf>.
- Morales, Roberto. *El CPTPP entrará en vigor el 30 de diciembre*, 31 de octubre de 2018. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/El-CPTPP-entrara-en-vigor-el-30-de-diciembre-20181030-0152.html>.
- Pempel, T.J. «Japan in the driver's seat? Reshaping the regional trade order without the United States». *Joint U.S.- Korea Academic Studies*, número 29 (julio de 2018): 208-221. [http://www.keia.org/sites/default/files/publications/jukas\\_3.2\\_japan\\_in\\_the\\_drivers\\_seat.pdf](http://www.keia.org/sites/default/files/publications/jukas_3.2_japan_in_the_drivers_seat.pdf).
- Ramírez Bonilla, Juan José. «La competencia Estados Unidos-China : el Trans-pacific Partnership Agreement vs. el Acuerdo de Libre Comercio China-Corea-Japón». En *China y su entorno geopolítico. Políticas e Instituciones de la integración regional*, editado por Juan José Ramírez Bonilla y Francisco Javier Haro Navejas, 33-72. El Colegio de México, Centro de Estudios de Asia y África, 2014.



Sanchez, Yanaisy. «La salida de los Estados Unidos del TPP: Reacciones y posibles escenarios». *Revista Cubana de Economía Internacional*, número 1 (2017): 78-89. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Cuba/ciei-uh/20170531125614/Lasalidadestado-sunidosdeltppreaccionesyposiblesescenarios.pdf>.

Sudo, Sueo. «Japan-ASEAN Relations: New Dimensions in Japanese Foreign Policy». *Asian Survey* 28, número 5 (mayo de 1988): 509-525. doi:10.1525/as.1988.28.5.01p0162r.

Taylor, Adam. «A timeline of Trump's complicated relationship with the TPP». *The Washington Post*, 13 de abril de 2018. [https://www.washingtonpost.com/news/worldviews/wp/2018/04/13/a-timeline-of-trumps-complicated-relationship-with-the-tpp/?utm\\_term=.8d03d55da4a5&noredirect=on](https://www.washingtonpost.com/news/worldviews/wp/2018/04/13/a-timeline-of-trumps-complicated-relationship-with-the-tpp/?utm_term=.8d03d55da4a5&noredirect=on).

Síntesis del modelo de programación entera-mixta  
utilizado en la subasta de largo plazo del mercado  
eléctrico mayorista mexicano

A summary of the mixed integer-programming model  
used in long-term auctions for Mexico's wholesale  
electricity market

Iván Montenegro Gutiérrez, *Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa*

**Resumen**

El objetivo de este artículo es explicar el mecanismo mediante el cual las subastas de largo plazo (SLP) son llevadas a cabo. El modelo del problema de subasta posee un comportamiento lineal (para las ofertas de compra) y un comportamiento discreto (para las ofertas de venta). El algoritmo de programación entera tiene el objetivo de escoger un conjunto de paquetes que satisfagan los requerimientos de los compradores, quienes dan a conocer la cantidad de dinero por la cual estarían dispuestos a pagar por unidad de producto. El conjunto de paquetes seleccionados debe cumplir con una serie de restricciones del problema: considerar las demandas de los compradores, la oferta de los paquetes, condicionamiento entre paquetes y las capacidades físicas de la red eléctrica.

**Abstract**

The aim of this article is to explain the mechanism by which long term auctions (SLP by its Spanish acronym) are carried out. The auction problem model has a linear behavior (for purchase bids) and a discrete behavior (for sale bids). The mixed integer linear programming algorithm aims to choose a set of packages that meet the requirements of the buyers, who disclose the amount of money which they would be willing to pay per unit of product. The set of selected packages must comply with a series of restrictions of the problem: they must consider the buyers' demands, the supply of packages, conditioning amongst packages and the physical capabilities of the electricity grid.

**Palabras clave**— subasta, subasta de largo plazo, mercado eléctrico, programación lineal entera mixta, ramificación y acotamiento

**Keywords**— auction, long term auction, electricity market, mixed integer linear programming, branch-and-bound

## Introducción

La Ley de la Industria Eléctrica (LIE), emitida el 11 de agosto del 2014 por el H. Congreso de la Unión, dio fin al monopolio de la industria eléctrica, permitiendo a la iniciativa privada participar en actividades que eran exclusivas del estado. En la LIE se declaran las actividades de planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), así como la transmisión y distribución de energía eléctrica como áreas estratégicas exclusivas del estado. El resto de las actividades de la industria eléctrica, como la generación y la comercialización, quedan abiertas a la participación privada.

Se crea la figura de Empresa Productiva del Estado, atribuida a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), para competir bajo las reglas de un mercado mayorista de energía a cargo de los órganos estatales reguladores fortalecidos. Entre estos órganos destaca el Centro Nacional del Control de la Energía (CENACE), el cual es un organismo público descentralizado que se encarga de la operación y el control del nuevo mercado eléctrico mayorista. Dentro de este se encuentra el mercado de largo plazo, donde se comercializan contratos de 15 años para la compra y venta de energía.

Este proceso se lleva a cabo como una subasta, donde el CENACE convoca a entidades responsables de carga (compradores), tales como suministradores de servicios básicos (CFE), suministradores de servicios calificados, usuarios calificados participantes del mercado y suministradores de último recurso, a celebrar contratos en forma competitiva con los licitantes (vendedores), dando lugar a la construcción de nuevas plantas generadoras de energía. Caicedo-Beltrán menciona cómo “[l]os mercados de largo plazo permiten que los nuevos proyectos compitan por tener mejor posición en la entrada al sistema de forma coordinada, evitando los ciclos de auge y déficit propios de una entrada de proyectos sin adecuada planificación”.<sup>1</sup>

---

1. Germán Alberto Caicedo Beltrán, «Mecanismos de subastas para la contratación de energía en mercados eléctricos: Aplicación en el mercado colombiano» (Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013).

La LIE obliga a las entidades responsables de carga a cumplir con un porcentaje de energías limpias dentro de sus centros de carga. Para esto, las subastas de largo plazo (SLP) tienen la tarea importante de implementar dentro del sistema eléctrico nacional nuevas centrales eléctricas que produzcan energía limpia, las cuales tendrán la capacidad de emitir certificados de energía limpia (CEL). Un CEL es un título que acredita la producción de 1 MWh de energía limpia, la cual puede provenir de tecnologías que se consideren limpias por las disposiciones emitidas en el décimo-sexto artículo transitorio de la Ley de Transición Energética. Existen tres productos que son ofertados en las SLP: los certificados, la energía eléctrica acumulable (EEA) y la potencia. Este tipo de ofertas no aplican a proyectos de energías intermitentes que no son capaces de garantizar potencia continua (como hacen la energía solar o la eólica).

## Subastas combinatorias

Una subasta combinatoria es un tipo de subasta silenciosa, es decir, los participantes no conocen las ofertas de los demás. En esta subasta, los vendedores pueden ofertar elementos discretos, o “paquetes”, en lugar de artículos individuales o cantidades continuas de distintos bienes.<sup>2</sup> Para llevar a cabo una subasta combinatoria, se diseña un modelo de optimización matemática que tiene la función de elegir la combinación de paquetes ganadores.

¿Por qué utilizar este tipo de modelos? En el primer proceso de subasta de largo plazo, llevado a cabo en 2015, un total de 227 paquetes entraron en la subasta. Decidir qué combinación de paquetes es la óptima representa una tarea imposible; elegir (o no) un paquete es una cuestión binaria, la cual implica explorar entre  $2^{227}$  combinaciones posibles. Por lo anterior, la pregunta en este trabajo es ¿cómo funcionan estos modelos matemáticos que son capaces de decidir los paquetes ganadores, de tal forma que se maximice el beneficio de

2. Nils-Henrik Natalia Fabra y David Harbord, *Designing Electricity Auctions*, 2010, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1756-2171.2006.tb00002.x>.

los participantes?

## El problema de subastas de largo plazo

Dado un conjunto de compradores,  $c_i$ , con  $i \in I = \{1, 2, \dots, m\}$ , y un conjunto de productos requeridos por los compradores,  $p_j$ , donde  $j \in J = \{\text{potencia, energía, CELs}\}$ , se busca satisfacer sus requerimientos mediante la selección de un conjunto de paquetes,  $u_p$ , con  $p \in P = 1, 2, \dots, l$ , los cuales contienen una combinación de los productos deseados por los compradores. Se conocen los precios unitarios ( $c_{ij}$ ) que estarían dispuestos a pagar los consumidores  $i$  por el producto  $j$ , los precios de cada paquete ( $c_p$ ), la cantidad del producto  $j$  en cada paquete  $p(a_{pj})$ , y la demanda del producto  $j$  del comprador  $i(b_{ij})$ . El problema de subasta consiste en elegir qué paquetes  $p$  serán ganadores y qué compradores  $c_i$  serán quienes se lleven los productos de la subasta; varios paquetes no serán elegidos y varios compradores no obtendrán sus productos demandados. La subasta presenta un esquema centralizado, tal como se muestra en la figura 1, donde el CENACE actúa como intermediario. Observe que hay agentes estratégicos en ambos lados: los licitantes y los compradores.

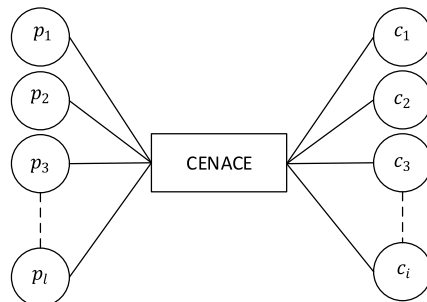


Figura 1: Diagrama bipartita del esquema de subasta de largo plazo

## Función Objetivo

Siguiendo a Cramtom, Shoam y Steinberg, el criterio de selección del modelo de una subasta, para determinar qué paquete es ganador y cuánto adquiere cada comprador, se debe basar en el equilibrio de Walras o Equilibrio Competitivo, en donde los compradores que ofrezcan precios altos por los productos deseados serán quienes, al final, serán acreedores de estos bienes. Aquellos licitantes que ofrezcan paquetes a bajos precios, con una cantidad considerable de los productos demandados, serán seleccionados como ganadores. De esta forma, CENACE compra los paquetes más atractivos y entrega su contenido a las mejores ofertas de compra. En economía, maximizar este excedente o diferencia se le denomina como la maximización del excedente marshalliano.<sup>3</sup> El manual de subastas de largo plazo establece que este excedente “puede interpretarse como el área debajo de la curva resultado de los cruces entre las ofertas de compra y venta”.<sup>4</sup>

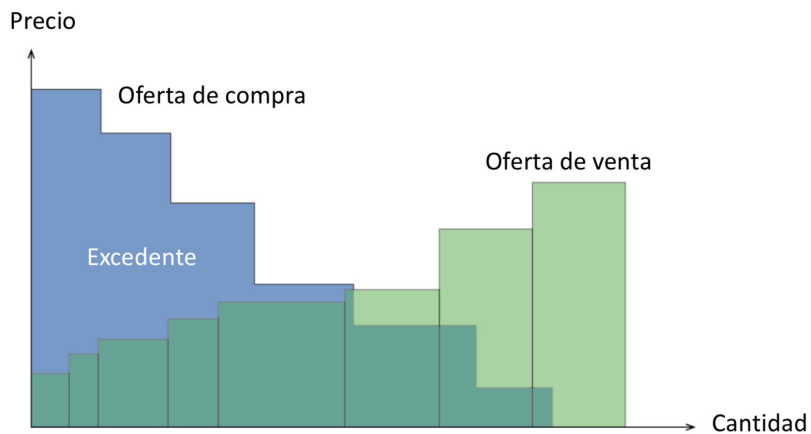


Figura 2: Excedente económico

Fuente: Primera Sesión de Capacitación para la SLP 2017

En resumen, el valor de la función objetivo de la subasta corresponde al excedente obtenido dado por la suma de la compra total de productos multiplicados por su costo unitario, menos la suma de los paquetes seleccionados multiplicados por su respectivo precio.

3. Peter C. Cramton, Yoav Shoham y Richard Steinberg, *Combinatorial auctions* (MIT Press, 2006).

4. <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/Publicas/MercadoOperacion/ManualesMercado.aspx>.

Esta expresión se muestra de forma compacta en (1), donde  $x_{ij}$  es la variable que denota la cantidad de productos  $j$  adquiridos por  $i$ , y  $u_p$  es una variable binaria cuyo valor es 1 cuando el paquete  $p$  es seleccionado y 0 cuando no es seleccionado.

$$\text{máx} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} - \sum_{p=1}^l c_p u_p \quad (1)$$

## Restricciones

El modelo de subasta consta de restricciones de suministro, demanda y restricciones lógicas que condicionan la selección de los paquetes. Las restricciones de suministro verifican que, para cada producto  $j$ , la suma total adquirida por los compradores  $i$  sea menor o igual a la suma de los productos  $j$  de los paquetes  $p$  seleccionados. En (2) se muestra esta restricción, donde  $a_{pj}$  es el parámetro que indica la cantidad del producto  $j$  contenida en  $p$ . Las restricciones de demanda no permiten a los compradores  $i$  adquirir cantidad de productos  $j$  mayor a su demanda  $b_{ij}$ , tal como se muestra en (3).

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq \sum_{p \in P} a_{pj} u_p \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq b_{ij} \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J \quad (3)$$

Las restricciones lógicas tienen dos tipos de formato: aceptar no más de un paquete  $p$  de los siguientes  $q$  paquetes, o aceptar el paquete  $p$  solo si el paquete  $w$  es aceptado. Los licitantes pueden utilizar el primer tipo de formato para ofertar un mismo proyecto en distintas locaciones, por ejemplo, suponga que un licitante, por razones presupuestales,

sólo tiene capital para desarrollar un único proyecto y tiene 3 posibles localidades (A, B y C). Estas ofertas se agrupan en subconjuntos denominados en el manual como ofertas mutuamente excluyentes. En la figura 3 se presentan verticalmente.

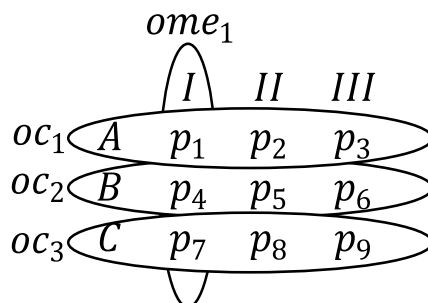


Figura 3: Ofertas condicionadas (Horizontales) y ofertas mutuamente excluyentes (Verticales)

Se declara un conjunto de ofertas de venta mutuamente excluyentes  $ome \in OME$ . Para este ejemplo,  $ome_1 = \{p_1, p_4, p_7\}$ , En (4) se obliga a que un solo paquete del conjunto de las ofertas mutuamente excluyentes quede como seleccionado. El segundo tipo de restricciones lógicas corresponden a las ofertas condicionadas; son los paquetes que están circulados horizontalmente en la figura 3. El propósito de agrupar los 9 paquetes de esta forma es que, al final de la subasta, se escoja el lugar y el tamaño del proyecto, y se desechen los demás paquetes  $p$  con oferta condicionada. Se declara una serie de subconjuntos  $oc_w \in P$  (en este caso, cada subconjunto  $oc_w$  es un subconjunto de 3 paquetes); para este ejemplo se tiene  $oc_1 = \{p_1, p_2, p_3\}$ ,  $oc_2 = \{p_4, p_5, p_6\}$  y  $oc_3 = \{p_7, p_8, p_9\}$ . En (5) se restringe la selección del paquete  $u_{p+1}$ , de tal manera que  $u_{p+1}$  sólo pueda ser seleccionado cuando  $u_p$  tenga el valor de 1, por ejemplo, el paquete  $p_2$  en  $oc_1$  solo puede ser seleccionado a menos que  $p_1$  sea seleccionado.

$$\sum_{p \in ome_q} u_p \leq 1 \quad \forall p \in ome_q \subseteq P \quad (4)$$

$$u_{p+1} \leq u_p \quad \forall p \in oc_w \subseteq P \quad (5)$$



## Solución mediante ramificación y acotamiento

La variable continua  $x_{ij}$  y la variable binaria  $u_p$  convierten al modelo en uno de programación lineal entera-mixta. El algoritmo de ramificación y acotamiento para resolver modelos de programación entera mixta fue propuesto por primera vez por Land & Doig en 1960.<sup>5</sup> Este algoritmo trata de dividir el espacio de soluciones en un árbol de decisiones donde se van eliminando ramas con soluciones infactibles o soluciones no óptimas. El algoritmo inicia realizando una relajación sobre la condición de integralidad<sup>6</sup> de las variables binarias, asumiendo continuidad en las variables. Así, el modelo puede ser resuelto como un simple modelo de programación lineal. Se resuelve el modelo de forma lineal mediante un proceso iterativo, donde el algoritmo más usado para modelos lineales es el método SIMPLEX. El valor de la función objetivo obtenido se convierte en una cota inferior de la función objetivo en la siguiente iteración, y aquellas variables binarias que hayan quedado con una solución no entera se redondean hacia arriba o hacia abajo. Finalmente, el algoritmo halla una solución aproximada del modelo, respetando la condición de integralidad de las variables binarias.

## Modelo original

El modelo original presentado en el manual de subastas de largo plazo (MSLP) consta de 20 restricciones. Con fines de simplificar el modelo original, no se consideran las zonas de potencia  $zp$ , donde cada zona de potencia tiene una demanda (se comparte una misma zona para la energía y los CELs), lo que implica que se enuncia una ecuación de balance como la mostrada en (4) para la comercialización de potencia en cada zona de potencia  $zp$ . Asimismo, este modelo simplificado no considera las fechas de operación comercial de

---

5. A. H. Land y A. G. Doig, «An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems», *Econometrica* 28, número 3 (1960): 497-520, issn: 00129682, 14680262, <http://www.jstor.org/stable/1910129>.

6. E . L . Lawler y D . E . Wood, «Branch-And-Bound Methods : A Survey», *Operations Research* 14, número 4 (1966): 699-719, <https://www.jstor.org/stable/168733>.

los paquetes. En el modelo original, el comprador especifica la fecha para la cual se desea el producto y los licitantes especifican la fecha para la cual estará en funcionamiento el proyecto ofertado. Se realizan balances de forma similar al mostrado en la expresión (4). En el modelo original, los licitantes deben especificar en sus paquetes las zonas de exportación  $z_e$  y la zona de interconexión  $z_i$  del proyecto. Esto se debe a que en cada zona de exportación hay límites de entrega de energía, y en cada zona de interconexión se delimita la cantidad máxima de potencia a inyectar. En resumen, los conceptos que se desprecian en este modelo sólo extienden los balances de productos para distintas zonas y distintas fechas. El modelo presentado en este trabajo rescata los elementos esenciales del modelo original en una forma compacta debido a la notación matemática utilizada.

## Ejemplo de un problema de subasta

En este ejemplo, por ser meramente ilustrativo, no se considerarán las expresiones (4) y (5), correspondientes a las restricciones lógicas, puesto que el ejemplo se concentrará en explicar el comportamiento de las restricciones (2) y (3). En una subasta, 2 compradores realizan ofertas para la adquisición de 3 productos: potencia, energía y CELs. En el cuadro 1 se presentan las demandas y los precios ofertados para cada producto. Se presentan 4 paquetes por parte de los licitantes, en el cuadro 2 se presentan los precios y contenidos de cada uno.

	Demanda Potencia (MW)	Precio Potencia (\$/MW)	Demanda Energía (MWh)	Precio Energía (\$/MWh)	Demanda CELS (CEL)	Precio CEL (\$/CEL)
$c_1$	50	1,300,000.00	150,000	800.00	150,000	350.00
$c_2$	40	1,000,000.00	120,000	600.00	120,000	300.00
	90		270,000		270,000	

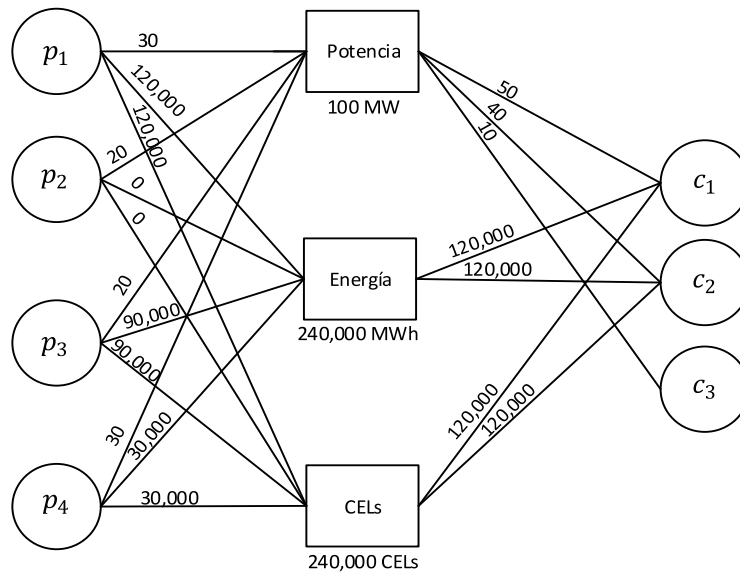
Cuadro 1: Ofertas de compra

Un posible esquema de solución se presenta en la figura 4, donde, arbitrariamente, todos

Potencia (MW)	Energía (MWh)	CELS (CEL)	Precio Paquete (\$)	
$p_1$	30	120,000	120,000	\$120,000,000.00
$p_2$	20	0	0	\$15,000,000.00
$p_3$	20	90,000	90,000	\$60,000,000.00
$p_4$	30	30,000	30,000	\$45,000,000.00
	100	240,000	240,000	\$240,000,000

Cuadro 2: Ofertas de venta

los paquetes son seleccionados como ganadores y se reparten los bienes entre los compradores de forma descendente, es decir, primero se abastece de productos a quienes dieron ofertas de compra más altas. Se añade un tercer comprador ficticio que sirve como sumidero para balancear las entradas y salidas de productos, y dicho comprador recibirá el sobrante de potencia, energía y CELs de los paquetes seleccionados; también, este comprador puede verse como una variable de holgura o *slack variable* en inglés.

Figura 4: Solución factible (Función Objetivo =  $1.11 \times 10^8$ )

Es posible ingresar cantidades de ofertas similares a las de una subasta convencional mediante un lenguaje de programación matemática. Por lo regular, una subasta contiene más de mil variables (en este caso sólo se manejan 10 variables: las 4 variables binarias  $u_p$  de los paquetes y 6 variables continuas  $x_{ij}$  de las ofertas compra). Se resuelve el modelo

mediante GAMS, utilizando el solver MIP del paquete CPLEX incluido, y obtiene un valor de la función objetivo equivalente a 123 millones de pesos. Se observa que el escenario óptimo sólo tiene una diferencia con el esquema de solución propuesto en la figura 4. El paquete 2 no es seleccionado, por lo que ahora  $c_2$  adquiere 30MW en vez de 40MW, es decir, el CENACE tiene menos ventas; pero también invierte menos en adquirir paquetes, dando lugar a un excedente mayor. Cabe recordar que la función objetivo del algoritmo diseñado por el CENACE es maximizar la diferencia entre la compra y venta de productos. Observe que el paquete  $p_2$ , a pesar de tener un coste muy bajo, el algoritmo lo desecha por su pequeña cantidad de productos ofrecidos.

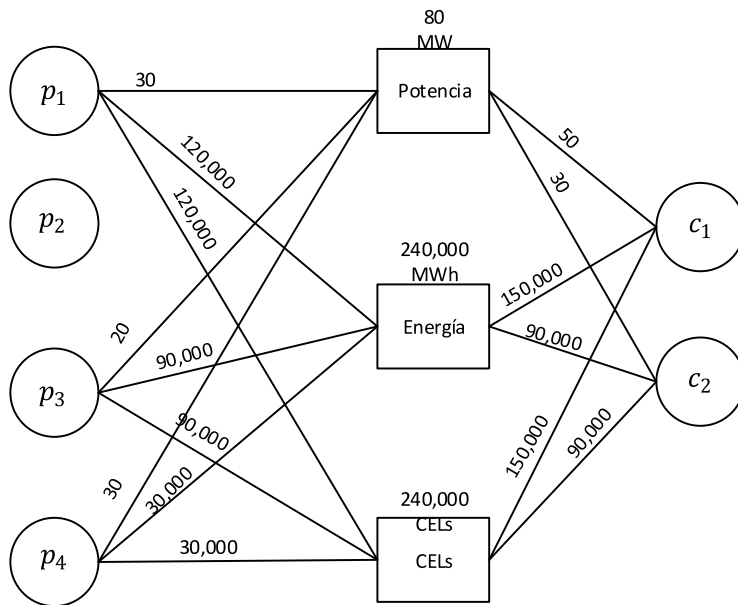


Figura 5: Solución óptima 2 (Función Objetivo =  $3.51 \times 10^8$ )

## Conclusiones

Entender el funcionamiento de este modelo permite al licitante conocer cuáles son las fuerzas motrices o parámetros que afectan, en mayor parte, al modelo en la selección de los paquetes ganadores y, de esta manera, realizar estratégicamente una oferta. Los elementos

clave que dan estructura al modelo son los balances en las ofertas de los productos y las restricciones lógicas sobre los condicionamientos de las ofertas.

El último proceso de subasta de largo plazo (SLP-2018) fue suspendido debido a que el gobierno actual argumenta que el proceso de subasta resultaba desventajoso para el sistema eléctrico nacional. El motivo es que la intermitencia de las nuevas centrales de energías renovables, implementadas por las subastas de largo plazo anteriores, aumentaban los precios en algunos puntos del sistema interconectado. Lo anterior significa que el modelo presentado en el manual de subastas necesita actualizarse para tomar en cuenta las posibles pérdidas económicas en la función objetivo por la intermitencia de las renovables, además de considerar si es conveniente, en este caso, el hecho de llevar a cabo la subasta.

En cuanto a política pública, el 7 de noviembre del presente año, se publicó el proyecto de Acuerdo 13/0004/071019, el cual busca que las centrales eléctricas legadas que generen energía a partir de fuentes limpias y sin importar su antigüedad, como las 60 hidroeléctricas que posee la CFE, sean capaces de emitir CELs. Sobre el proyecto, Víctor Ramírez Cabrera, consultor independiente especializado en temas relativos a energías renovables, dijo: “Ahora privados van a competir con empresas que ya estaban instaladas desde antes lo que provocará un superávit de CEL que su precio se va a caer, se va a ir a cero. Va a haber una sobreoferta.”<sup>7</sup> Este tipo de cambios en materia de política pública son capaces de volver obsoletos los procesos de contratación de energía a largo plazo y, por ende, frenar la inversión privada en infraestructura para generación de energía.

---

7. Ulises Juárez, *Sener quiere meter CEL de centrales legadas al mercado eléctrico*, octubre de 2019, <https://www.energiaadebate.com/energia-limpia/sener-quiere-meter-cel-de-centrales-legadas-al-mercado-electrico/>.

## Referencias

- . <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/Publicas/MercadoOperacion/ManualesMercado.aspx>.
- . <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/Publicas/MercadoOperacion/SubastasLP.aspx>.
- Caicedo Beltrán, Germán Alberto. «Mecanismos de subastas para la contratación de energía en mercados eléctricos: Aplicación en el mercado colombiano». Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013.
- Cramton, Peter C., Yoav Shoham y Richard Steinberg. *Combinatorial auctions*. MIT Press, 2006.
- Juárez, Ulises. *Sener quiere meter CEL de centrales legadas al mercado eléctrico*, octubre de 2019. <https://www.energiaadebate.com/energia-limpia/sener-quiere-meter-cel-de-centrales-legadas-al-mercado-electrico/>.
- Land, A. H., y A. G. Doig. «An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems». *Econometrica* 28, número 3 (1960): 497-520. ISSN: 00129682, 14680262. <http://www.jstor.org/stable/1910129>.
- Lawler, E . L ., y D . E . Wood. «Branch-And-Bound Methods : A Survey». *Operations Research* 14, número 4 (1966): 699-719. <https://www.jstor.org/stable/168733>.
- Natalia Fabra, Nils-Henrik, y David Hardbord. *Designing Electricity Auctions*, 2010. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1756-2171.2006.tb00002.x>.

# Tendencias de la manufactura aditiva en la industria automotriz en el estado de Texas

## Additive manufacturing trends in the automotive industry in the state of Texas

Beiry Ordaz Pérez, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*

### **Resumen**

La impresión 3D se está utilizando como un método de creación de prototipos en diversas industrias, de las cuales, la industria automotriz es una de las más importantes y representativas. Dicha industria es una de las que cuentan con mayor crecimiento en diferentes países, como Estados Unidos. Por lo anterior, en esta investigación se analizarán indicadores, tanto económicos como tecnológicos, para identificar la dirección de la industria en el estado de Texas, el cual es uno de los principales clientes de México en el mercado de las autopartes.

### **Abstract**

3D printing is being used as a method of prototyping in various industries, of which the automotive industry is one of the most important and representative. This industry is one of the fastest growing in many countries such as the United States. Therefore, this research will analyze indicators, both economic and technological, to identify the direction of the industry in the state of Texas, which is one of Mexico's leading customers in the auto parts market.

**Palabras clave**— manufactura aditiva, Texas, industria automotriz

**Keywords**— additive manufacturing, Texas, automotive industry

## Introducción

La manufactura aditiva (AM por sus siglas en inglés) consiste en la impresión de objetos en 3D a partir de un modelo digital, es decir, es una manera diferente de crear cosas. A través de este método se obtienen beneficios: reduce costos de producción, mejora la cadena de suministro, incrementa la eficiencia en las industrias, etcétera. En consecuencia, la AM está revolucionando los procesos de producción.

En el caso de la industria automotriz, la manufactura aditiva se vuelve cada vez más común. Los materiales que se utilizan con mayor frecuencia para la impresión de autopartes son polímeros, metales y cerámica. Esta industria ha sido una de las primeras en utilizar la impresión 3D: en 1988, Ford compró la tercera impresora 3D.<sup>1</sup> Lo anterior es prueba de la rápida evolución de los procesos de transformación de las cadenas de valor y cómo AM es una de las Tecnologías Habilitadoras Clave (KET por sus siglas en inglés) para la industria 4.0.<sup>2</sup>

En Estados Unidos, la industria ha tenido un crecimiento del 2.0% anual hasta alcanzar la cifra de 36 millones de dólares en 2019; además, se ha beneficiado del auge de las exportaciones. En este país, General Motors Company, Ford Motor Company, Toyota Motor Corporation, Fiat Chrysler Automobiles NV y Honda Motor Co., Ltd. son algunas de las compañías con mayor participación en el mercado de la fabricación de piezas de automóviles.<sup>3</sup>

En el Informe de Competitividad Global del Foro Económico Mundial de 2018, donde se consideran 140 economías, se enunció que Estados Unidos se posiciona con una puntuación

---

1. Craig A. Giffi, Bharath Gangula y Pandarinath Illinda, «3D opportunity in the automotive industry», *Deloitte University Press*, 2014, 3D opportunity in the automotive industry. (2014)., [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP\\_707-3D-Opportunity-Auto-Industry\\_MASTER.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf).

2. Atos, «Unlocking the potential of additive manufacturing [White paper]», 2016, <https://atos.net/wp-content/uploads/2016/11/White-Paper-Additive-Manufacturing-web.pdf>.

3. Inc IBISWorld, *Industry Market Research, Reports, and Statistics*, <https://www.ibisworld.com/>.



de 85.6 sobre 100 en el Índice de Competitividad Global, lo cual muestra el alto nivel de competencia del país americano en todas las industrias.<sup>4</sup>

## Lo que describen los indicadores económicos y tecnológicos

En esta sección se pretende analizar indicadores básicos de la industria, con el objetivo de identificar tendencias de la manufactura aditiva en la industria automotriz dentro del estado de Texas. Para esto, se toman en cuenta variables económicas y tecnológicas de dicho estado. El análisis económico busca identificar cómo se está desarrollando la industria; posteriormente, el análisis tecnológico busca encontrar una tendencia en la impresión 3D aplicada en dicha industria. Primero se debe observar la tendencia del Producto Interno Bruto de la manufactura de autopartes. Véase la figura 1.

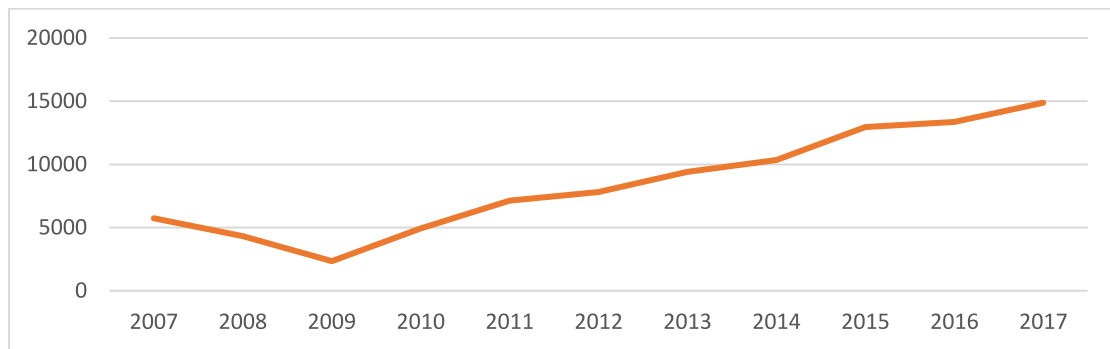


Figura 1: Producto Interno Bruto de la manufactura de autopartes en Texas.

Fuente: Elaboración propia con base en Bureau of Economic Analysis.

Hay un notable crecimiento en el periodo comprendido entre el 2007 y el 2017 en la producción de autopartes. Desde la crisis del 2008 en Estados Unidos hasta la actualidad, el crecimiento de esta industria se ha acelerado. Es probable que el aumento constante en la

4. Klaus Schwab, *The Global Competitiveness Report 2017-2018*, 31 (World Economic Forum, 2017), 263, ISBN: 9781944835118, <http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2018.pdf>.

producción se deba a mayores inversiones en la industria y a mejoras en la tecnología para los procesos de producción. Existe una tendencia positiva en el Producto Interno Bruto en millones de dólares corrientes.

También se tomaron en cuenta los niveles de empleo dentro de la industria. El empleo es un indicador importante porque, dependiendo de la tendencia que muestre la industria, se pueden obtener diversas conclusiones, tanto positivas como negativas, sobre la misma. Por ejemplo: mayor eficiencia en los procesos productivos, automatización, mejoras en el capital humano, etcétera. Véase la figura 2.

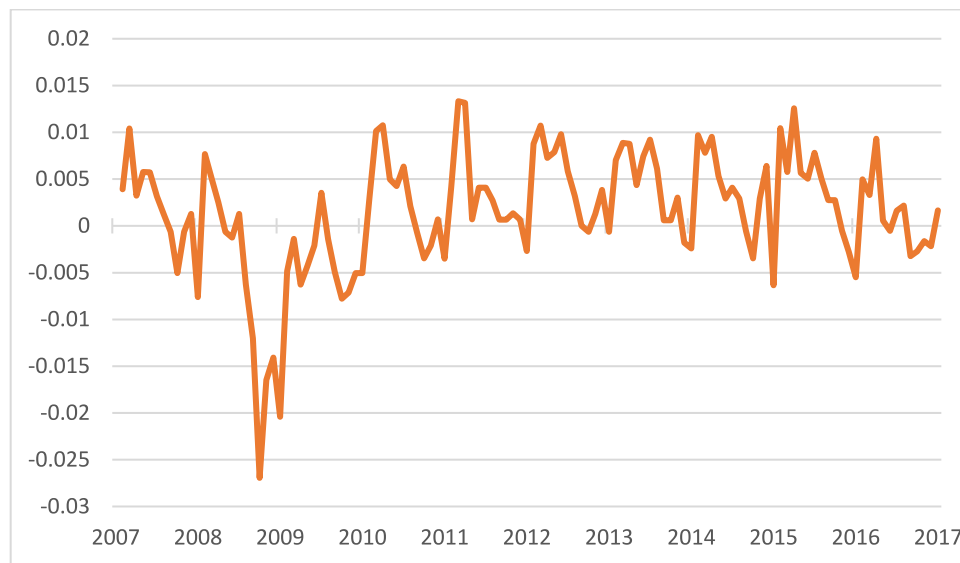


Figura 2: Tasa de crecimiento del empleo en Texas

Fuente: Elaboración propia con datos de Federal Reserve Economic Data

El aumento en los niveles de empleo en la industria automotriz en Texas se analizó de 2007 al 2017 por miles de personas y con frecuencia mensual. Hay fluctuaciones observables y, del 2016 al 2017, la tasa de crecimiento promedio mensual fue del 0.10%. Empero, en los datos empleados para graficar, hubo tasas de crecimiento negativas en los últimos meses del 2016. Con dichas tasas de crecimiento, es posible considerar que la industria requiere de reducción del personal y mayor capacitación al restante.

Una segunda interpretación a las causas de la tendencia del empleo es el comercio con otros países, entre los cuales destaca México, el cual es uno de los principales socios comerciales de Estados Unidos con respecto a la industria automotriz. Cabe destacar que Texas es comprador de autopartes de países como Canadá, China y, como ya se mencionó, México. La balanza comercial se analizará a continuación.

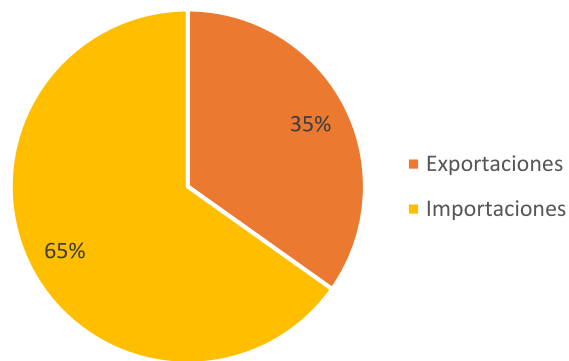


Figura 3: Balanza comercial

Fuente: Elaboración propia con datos de globalEDGE

Las estadísticas de Global Business Knowledge Trade Stats revelan que, en el 2017, la balanza comercial de Texas resultó negativa pese a su elevado desarrollo en la industria automotriz. Sus importaciones conformaron el 65% del comercio internacional, mientras que las exportaciones ocuparon sólo el 35% del comercio que tiene el estado con respecto a la industria automotriz.<sup>5</sup>

5. World Bank Group, *Estados Unidos - Resumen del comercio*, World Integrated Trade Solution, <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/es/Country/USA/Year/LTST/Summarytext>.

## Regionalización

Se utilizaron técnicas de análisis regional a partir de coeficientes y matrices para analizar la dinámica y competitividad del sector dentro de la región. En este caso, se tomaron los cuatro estados que se encuentran al sur de Estados Unidos debido a que se encuentran en la frontera con México, el cual es un importante socio comercial del país norteamericano en la industria automotriz. El objetivo es comparar el crecimiento de la industria en Texas con los estados al norte de México.

Asimismo, se analiza el comportamiento intertemporal de las regiones, es decir, la dinámica de los procesos económicos en cada estado, así como aquellos factores que determinan los niveles de competitividad regional en un entorno de globalización creciente. El Producto Interno Bruto por sector y estado fue la variable que se tomó en cuenta para realizar los procedimientos requeridos.

Se comienza con el análisis del coeficiente de localización o especialización relativa,  $Q_{ij}$ :

$$Q_{ij} = \frac{\frac{V_{ij}}{\sum_{j=1}^n V_{ij}}}{\frac{\sum_{i=1}^n V_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_{ij}}} \quad (1)$$

Donde la variable  $V_{ij}$  es el PIB por estado e industria en millones de dólares corrientes ajustados estacionalmente en el sector manufacturero  $i$  dentro del estado  $j$ .

El coeficiente  $Q_{ij}$  representa la relación entre la participación del estado  $j$  en la industria  $i$  de toda la región<sup>6</sup> ( $\frac{V_{ij}}{\sum_{j=1}^n V_{ij}}$ ), y la participación total del estado  $j$  en el PIB regional

---

6. En este caso, de los cuatro estados fronterizos utilizados para el análisis constituyen la región.

$(\frac{\sum_{i=1}^n V_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_{ij}})$ . Por ejemplo, para el caso de la manufactura de autopartes en Texas, el coeficiente  $Q_{ij}$  indica la relación entre la participación de Texas en la industria de manufactura regional y la participación de Texas en el PIB regional. El coeficiente permite conocer la existencia ( $Q > 1$ ) o ausencia ( $Q < 1$ ) de la especialización en la actividad económica. Véase el cuadro 1.

Localización o Especialización Relativa				
2017	Región			
Sector	California	Arizona	Nuevo México	Texas
Manufactura de autopartes	0.4567665	0.51049673	0.035979952	<b>2.07412482</b>

Cuadro 1: Coeficiente de Localización.

Fuente: Elaboración propia con datos de Bureau of Economic Analysis.

El coeficiente sólo permite analizar un año, por lo que se calculó para el 2017. Los resultados revelan que Texas es el estado que presenta mayor especialización relativa en la manufactura de la industria automotriz, en comparación con los otros tres estados. Esta tendencia se debe a que, en los indicadores anteriores, Texas refleja un auge en la industria en la parte de producción y empleo. Por el contrario, los demás estados no presentan una especialización para el sector que se está analizando ya que sus coeficientes son menores a 1. Además, se calculó el multiplicador  $X_{ij}$  para cada estado, el cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$X_{ij} = V_{ij} - \frac{V_{ij}}{Q_{ij}} \quad (2)$$

Este multiplicador se interpreta como la producción básica o exportable del sector manufacturero (específicamente en la industria automotriz) de cada estado. El supuesto principal es que los sectores con un coeficiente de localización mayor o igual a 1 muestran especialización relativa y producción excedente. Véase el cuadro 2.

Como se observa en la tabla 2, Texas es el único estado que cuenta con un nivel de

Multiplicador $X_{ij}$				
2017	Región			
Sector	California	Arizona	Nuevo México	Texas
Manufactura de autopartes	-6617.75429	-692.97999	-393.860853	<b>7704.59513</b>

Cuadro 2: Multiplicador  $X_{ij}$ 

Fuente: Elaboración propia con datos de Bureau of Economic Analysis.

producción que le permite tener excedente. Este multiplicador sólo confirma los resultados de los indicadores que se analizaron con anterioridad. A diferencia de Texas, los estados restantes (Arizona, California y Nuevo México) no tienen una producción que les permita tener excedente: su multiplicador negativo es reflejo de lo insignificante que es la producción de autopartes.

## Índice de innovación

El índice de innovación que publica Stats America provee medidas relevantes de innovación y competitividad regional. Las medidas que utiliza reflejan la investigación contemporánea en el entendimiento e innovación para un área geográfica en específico. Está conformado por *inputs* y *outputs* de innovación para medir tanto la capacidad de innovación como los resultados de innovación.

Los *inputs* son todos aquellos factores que promueven la innovación y creación de conocimientos; contienen tres indicadores: índice de capital humano, dinámica de negocios e índice de perfil de negocios. Por otra parte, los *outputs* contienen dos indicadores: el índice de empleo y productividad, y el índice de bienestar económico. Este último índice se mide en una escala entre 50 (más bajo) y 200 (más alto).

Texas tiene dieciséis condados con altos índices de innovación, lo cual es producto de centros de investigación y desarrollo (I + D), las empresas generadoras de tecnología, gene-

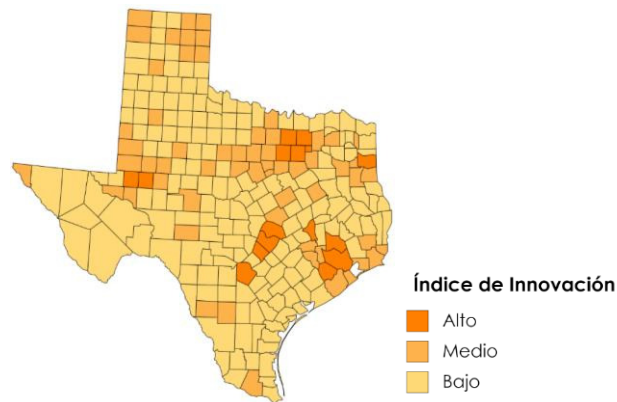


Figura 4: Índice de innovación

Fuente: elaboración propia con datos de StatsAmerica

ración de patentes, entre otros. Tiene capital humano altamente calificado y un nivel de vida elevado; además, cuenta con las condiciones idóneas para una dinámica de negocios óptima, lo cual da como resultado una gran capacidad de innovación con efectos de alto impacto.

Para complementar las variables tecnológicas se tomó en cuenta la generación de patentes dentro del estado, considerando las patentes otorgadas por cada mil personas en ocupaciones de ciencia e ingeniería. Véase la figura 5.

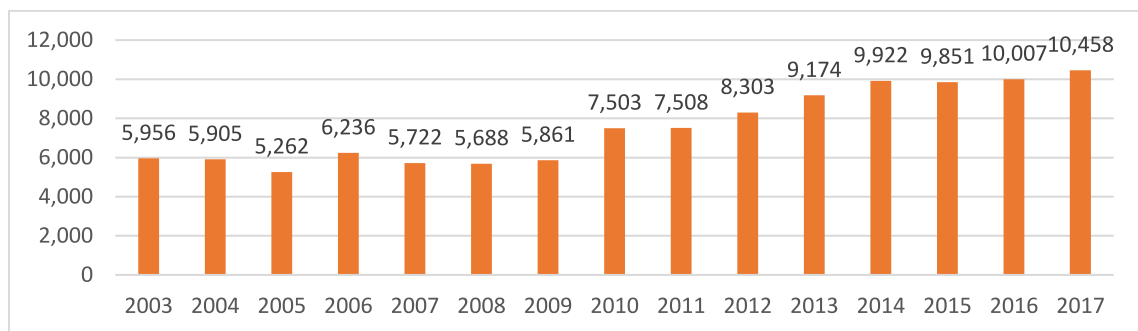


Figura 5: Patentes otorgadas en Texas por cada mil personas en ocupaciones de ciencia e ingeniería.

Fuente: Elaboración propia con base en NSF (National Science Foundation).

Con base en los datos del Consejo Nacional de Ciencia de Estados Unidos (NSF por sus siglas en inglés) se obtuvieron las patentes otorgadas desde el 2003 hasta el 2017. Es posible observar que entre el 2003 y el 2010, el número de patentes fluctuó; sin embargo, en los años posteriores el número de invenciones ha ido en aumento. Cabe destacar que, en este periodo, la tasa de crecimiento promedio anual fue de 35.49%. Esto es una clara muestra de mayor presencia y gran actividad de la industria 4.0 dentro del estado.

## **Empresas transformadoras**

Se realizó una búsqueda de las principales empresas transformadoras presentes en el estado que se dedicaran a la impresión 3D. Por empresa transformadora se consideró a las empresas que ofrecen los servicios de impresión y/o venden maquinaria y equipo de impresión 3D, dado que aportan al eslabón de transformación de la cadena de valor de la industria. Los resultados se obtuvieron de diversas fuentes como catálogos de empresas, sitios web del gobierno del estado, noticias, informes e incluso de los mismos sitios web de las empresas. Véase el cuadro 3.

Los nombres de las empresas que se encuentran resaltados (en negritas) en el cuadro 3, además de ser transformadoras, tienen sus propios centros de Investigación y Desarrollo donde se desarrollan nuevos métodos de impresión 3D y prototipos. Es importante resaltar que las empresas no son necesariamente estadounidenses; sin embargo, tienen sedes en Texas. Como se observa en la tabla, las empresas se concentran en determinados condados del estado.



Empresa	Producto	Dirección
<b>Atos</b>	Impresión 3D	Irving, TX
<b>Farsoon Technologies - Americas</b>	Maquinaria de impresión 3D	Round Rock, TX
<b>Essentium Materias LLC</b>	Maquinaria de impresión 3D	College Station, TX
<b>Hybrid Manufacturing Technologies</b>	Maquinaria de impresión 3D	McKinney, TX
<b>EOS North America</b>	Maquinaria de impresión 3D	PFLUGERVILLE, TX
<b>UnionTech</b>	Maquinaria de impresión 3D	Houston, TX
<b>Mazak</b>	Maquinaria de impresión 3D	Houston, TX
<b>AGS Additive Manufacturing</b>	Impresión 3D	Fort Worth, TX
<b>Oerlikon</b>	Impresión 3D	San Antonio, TX
<b>PATD</b>	Impresión 3D	Austin, TX
<b>re:3D</b>	Diseño e impresión	Houston, TX
<b>DMG MORI</b>	Maquinaria de impresión 3D	Houston, TX
<b>Stratasys</b>	Maquinaria de impresión 3D	Drive Belton, TX
<b>GE Additive</b>	Maquinaria de impresión 3D	Dallas, TX
Okuma: distribuidor Hawking	Maquinaria de impresión 3D	Irving, TX
FANUC America Corporation	Maquinaria de impresión 3D	Houston, TX

Cuadro 3: Principales empresas de impresión 3D en Texas

Fuente: Elaboración propia

## Trayectoria tecnológica

El desarrollo de una tecnología es importante al momento de analizar su impacto en una industria, esto se debe a que, si la tecnología crece, entonces es posible que la industria también lo haga. Así mismo, una tecnología como la impresión 3D, permite hacer los procesos de producción más automatizados y eficientes; además, la tecnología tiene la ventaja de reducir los costos para la industria que se está analizando.

Una trayectoria tecnológica permite observar y determinar el crecimiento y evolución de una tecnología. El ciclo de vida de una tecnología se divide en tres etapas: innovación, madurez o estancamiento, y obsolescencia (declive). Las etapas se pueden observar en un gráfico que muestra las patentes otorgadas en un periodo de tiempo para una tecnología en específico. Si la gráfica muestra que el número de patentes deja de crecer o aparecer en el

tiempo, significa que la tecnología ya llegó a su punto máximo de maduración y entonces se encuentra en declive. Si ocurre lo contrario, entonces se puede decir que la tecnología está en pleno crecimiento.

Se empleó este análisis para la manufactura aditiva y poder analizar su efecto en la industria automotriz. En primera instancia, se realizó una búsqueda de patentes en ESPACENET (European Patent Office), Patent Integration y Patent Inspiration. Se tomaron en cuenta los últimos diez años para observar cómo ha sido el desarrollo de la impresión 3D, enfocada a la industria automotriz, con base en la revisión de las empresas y de los informes y publicaciones del gobierno del estado.

Se identificaron dos áreas dentro de la manufactura aditiva que tienen lugar en el proceso de producción de la industria automotriz: impresión 3D y equipo de post procesamiento. Por lo tanto, se usaron dos estrategias de búsqueda para las patentes en esas áreas que además fueran enfocadas a la industria de análisis. Adicionalmente, en cada área se identificaron los tres campos técnicos de mayor crecimiento. Véase la figura 6.<sup>7</sup>

Como se puede observar en el gráfico, el crecimiento de tres campos técnicos identificados ha sido constante; aunque existen antecedentes en el 2010, el auge de las patentes está entre 2017 y 2018. Véase la figura 7.<sup>8</sup>

Primero, es necesario explicar que el equipo que da los acabados finales a las piezas impresas tridimensionalmente, con el objetivo de que el paso siguiente en el proceso de producción sea el ensamblaje de las autopartes, se denomina equipo de post procesamiento. Los tres campos técnicos identificados con mayor crecimiento en esta área destacan en los

---

7. La estrategia de búsqueda utilizada para esta primera área fue la siguiente: (Vehicle or automotive or autopart) in title or abstract AND B33Y10/00 or B33Y80/00 or B33Y70/00 or B29C64/00 or B33Y70/00 or B22F7/00 or B29C64/40 as the IPC classification.

8. La estrategia que se usó para la búsqueda de patentes en esta área es la siguiente: (vehicle or automotive or autopart or automobile or "motor vehicle") in title or abstract AND B29C64/393 OR B29C67/00 or B29C64/25 or B29C64/393 or B26D3/00 or B26D3/08 or B26D7/26 or B26D7/27 or B26D7/32 as the IPC classification.

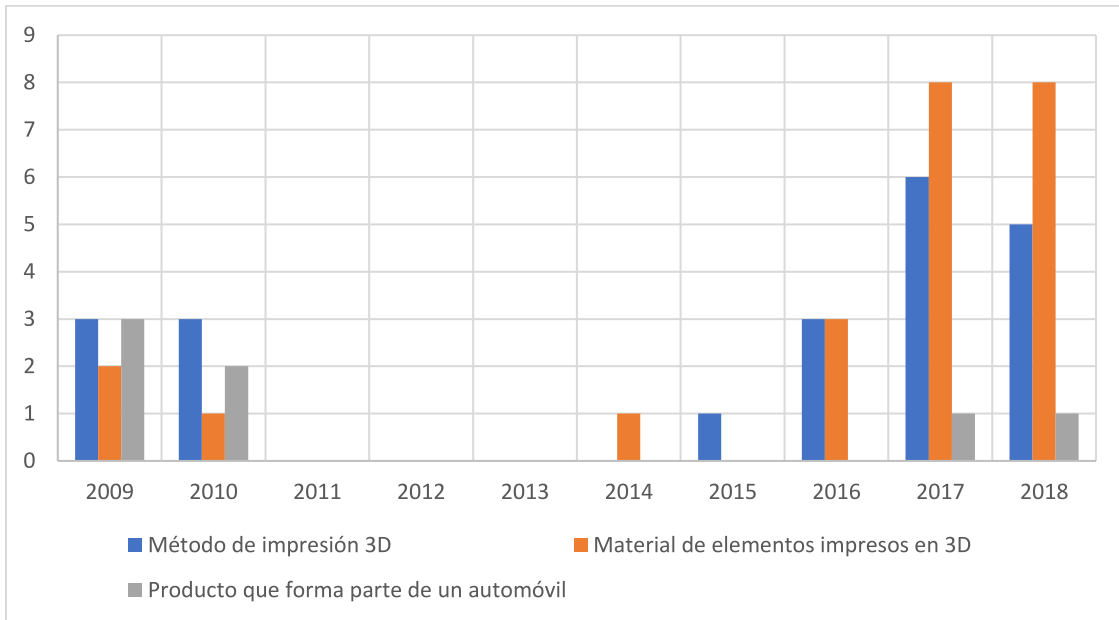


Figura 6: Impresión 3D enfocado a industria automotriz  
Elaboración propia con información de ESPACENET

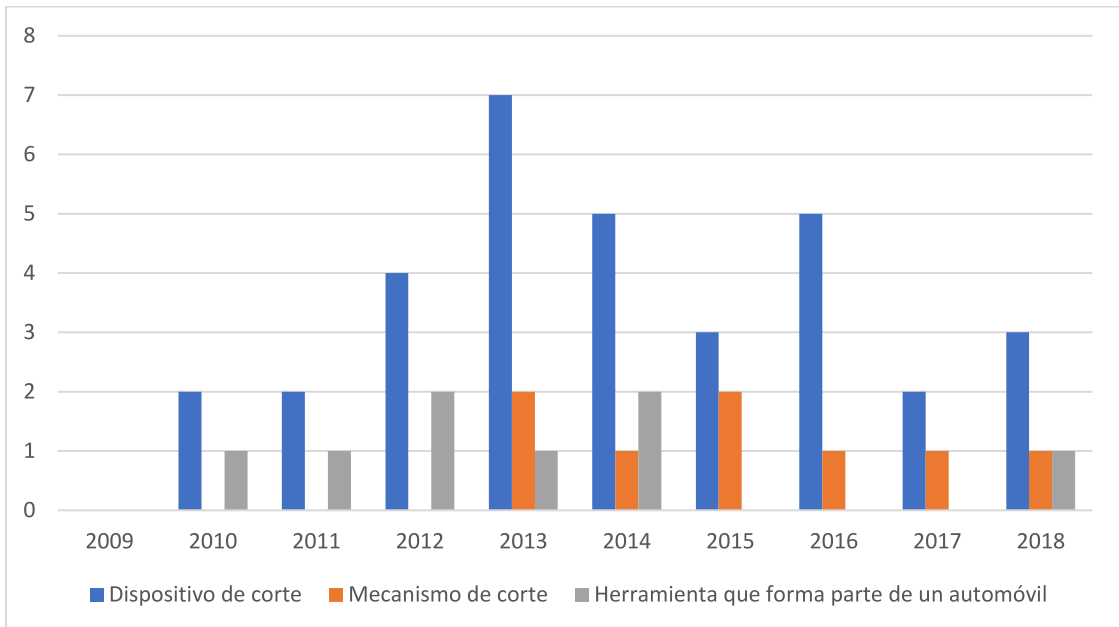


Figura 7: Equipo de post procesamiento  
Elaboración propia con información de ESPACENET

años más recientes.

## Conclusiones

Los indicadores mostraron un incremento en la producción de autopartes con excedente, constantes fluctuaciones en el empleo, balanza comercial negativa, tendencia alta y positiva de especialización relativa, alta capacidad de innovación, capital humano altamente calificado, alta creación de tecnología y presencia de distintas empresas concentradas en ciertos condados.

Relacionando los indicadores económicos con los tecnológicos, y tomando en cuenta los efectos que tiene la manufactura aditiva en la industria, se destaca que la manufactura aditiva tiene cada vez mayor presencia en la industria automotriz debido al aumento en la producción con tasas de crecimiento del empleo cambiantes que muestran automatización.

Además, al haber una capacidad tecnológica elevada, la industria 4.0 fácilmente se introduce a nuevas áreas, como la automotriz en este caso. Las condiciones del estado son ideales para el crecimiento de la impresión 3D de autopartes, justo como se observó en los datos analizados. Por lo tanto, la manufactura aditiva tiene una tendencia positiva dentro de la industria automotriz y en Texas.

## Referencias

- Additive Manufacturing Magazine. *Manufacturers And Suppliers*. <https://www.additive-manufacturing.media/suppliers/category/1200/products>.
- Atos. «Unlocking the potential of additive manufacturing [White paper]», 2016. <https://atos.net/wp-content/uploads/2016/11/White-Paper-Additive-Manufacturing-web.pdf>.
- Bureau of Economic Analysis (BEA). *Regional Data - SAGDP2N Gross domestic product (GDP) by state*. <https://apps.bea.gov/itable/itable.cfm?ReqID=70&step=1>.
- Cluster Mapping. *Regions U.S. Cluster Mapping*. <http://www.clustermapping.us/region>.
- Craig A. Giffi, Bharath Gangula y Pandarinath Illinda. «3D opportunity in the automotive industry». *Deloitte University Press*, 2014, 3D opportunity in the automotive industry. (2014). [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP\\_707-3D-Opportunity-Auto-Industry\\_MASTER.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf).
- Espacenet. <https://worldwide.espacenet.com/>.
- Federal Reserve Bank of St. Louis. *All Employees: Retail Trade: Motor Vehicle and Parts Dealers in Texas*. <https://fred.stlouisfed.org/series/SMU48000004244100001>.
- globalEDGE. *Texas: Trade Statistics*. <https://globaledge.msu.edu/states/texas/tradestats>.
- IBISWorld, Inc. *Industry Market Research, Reports, and Statistics*. <https://www.ibisworld.com/>.
- National Science Foundation. *Patents Awarded per 1,000 Individuals in Science and Engineering Occupations*. <https://www.nsf.gov/statistics/state-indicators/indicator/patents-per-1000-se-occupation-holders>.

- Office of the Texas Governor. *Target Industry Clusters*. <https://gov.texas.gov/business/page/target-industries>.
- . «The Texas Automotive Manufacturing Industry», 2014. <https://businessintexas.com/sites/default/files/07/24/17/txauto.pdf>.
- Scwab, Klaus. *The Global Competitiveness Report 2017-2018*. 263. 31. World Economic Forum, 2017. ISBN: 9781944835118. <http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2018.pdf>.
- StatsAmerica. *Innovation Mapping*. <http://www.statsamerica.org/ii2/map.aspx>.
- Texas Comptroller. *Automobile-Related Manufacturing NAICS 3361-3363 Overview*. <https://comptroller.texas.gov/economy/economic-data/manufacturing/naics3361-3363-overview.php>.
- Thomas, Douglas S. «Economics of the U.S. Additive manufacturing industry». *Additive Manufacturing: Costs, Cost Effectiveness and Industry Economics*, 2015, 97-159.
- World Bank Group. *Estados Unidos - Resumen del comercio*. World Integrated Trade Solution. <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/es/Country/USA/Year/LTST/Summarytext>.

# Uso de redes neuronales para el pronóstico de la inflación en México

## Use of neural networks for inflation forecasting in Mexico

Héctor Pedroza Robles, *Universidad Nacional Autónoma de México*

### Resumen

El objetivo de este artículo es mostrar el poder predictivo de la red neural artificial (RNA) como método alternativo para pronosticar la inflación mensual en México. Utilizando un enfoque de series de tiempo dando énfasis en el factor estacional y un proceso AR(1), dándole importancia al análisis de los datos antes de su implementación, que a pesar de ser sencilla, requiere de realizar distintas pruebas y ajustes para encontrar un modelo que generalice los patrones que presenta la serie.

### Abstract

The aim of this paper is to show the predictive power of the artificial neural network (ANN) as an alternative method to forecast monthly inflation in Mexico. Using a time series approach emphasizing the seasonal factor and an AR (1) process, giving importance to the analysis of the data before its implementation, which requires different tests and adjustments to find a model that generalizes the patterns presented by the series.

**Palabras clave**— redes neuronales, RNA, inflación, México, series de tiempo

**Keywords**— neural networks, ANN, inflation, Mexico, time series

## Introducción

El uso de redes neuronales artificiales (RNA) se ha popularizado debido a su desempeño en tareas de clasificación y regresión, así como a su implementación sencilla en diversos lenguajes de programación. Son capaces de detectar y aprender patrones complejos, especialmente en el modelado de series no lineales; por tanto, se han convertido en una herramienta útil para el análisis de información como el pronóstico de variables complejas.<sup>1</sup>

El objetivo del presente artículo es mostrar la capacidad predictiva para series de tiempo no lineales que tiene esta técnica de estimación no paramétrica; asimismo, mostrar una metodología para el uso de redes neuronales con respecto a variables económicas. El caso particular es la predicción de la inflación en México. Puesto que la inflación influye en las decisiones de los agentes económicos, un pronóstico acertado puede beneficiar a dichos agentes (consumidores, productores y creadores de políticas monetarias)<sup>2</sup> mediante la predicción de los ajustes de los precios. Al ser el precio una variable que afecta a toda la economía, lo hace un candidato para el uso de esta herramienta de pronóstico.<sup>3</sup>

## Datos y Metodología

Se utiliza la inflación mensual<sup>4</sup> de enero de 1971 a mayo de 2019, siendo un total de 581 datos. El reducido número de observaciones con las que se cuenta puede llegar a ser

---

1. Jesús García Herrero y col., *Ciencia de datos. Técnicas analíticas y aprendizaje estadístico* (Alfaomega, 2018).

2. Chiranjit Chakraborty y Andreas Joseph, «Machine learning at central banks», *Bank of England*, número 674 (2017), <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/working-paper/2017/machine-learning-at-central-banks.pdf?1a=en&hash=EF5C4AC6E7D7BDC1D68A4BD865EEF3D7EE5D7806> hacen énfasis en que los Bancos Centrales deben hacer uso de técnicas de machine learning como lo son las redes neuronales.

3. M. Ali Choudhary y Adnan Haider, «Neural network models for inflation forecasting: An appraisal», *Applied Economics* 44, número 20 (2012): 2631-2635, ISSN: 00036846, doi:10.1080/00036846.2011.566190.

4. INEGI, *Banco de Información Económica*, visitado 2 de julio de 2019, <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0#divFV628194>.



un problema para el entrenamiento de la red neuronal, puesto que es probable que no logre generalizar el comportamiento de la serie.

Una solución a dicho problema sería el uso de datos de mayor frecuencia como lo es la inflación quincenal. No obstante, en trabajos como en el de Choudhary y Haider<sup>5</sup> y Rani, Haragopal y Reddy<sup>6</sup> se utilizaron una menor cantidad de datos obteniendo buenos resultados, por lo que se opta por utilizar la serie mensual.

Es recomendable hacer estacionaria la serie como lo hace Gheyas y Smith,<sup>7</sup> Khashei y Bijari,<sup>8</sup> sin embargo, Ortiz,<sup>9</sup> el cual usa redes neuronales para pronosticar el precio del petróleo, resalta que se pueden obtener buenos resultados a partir de los datos de entrada directos, por lo que se prefiere escalar de los datos entre 0 y 1 de la siguiente forma:

$$x' = \frac{x - \text{mín}(x)}{\text{máx}(x) - \text{mín}(x)} \quad (1)$$

Una vez escalados los datos ( $x'$ ), se puede analizar la serie utilizando la metodología de Benkachcha, Benhra y El Hassani,<sup>10</sup> la cual consiste en utilizar los componentes estacionales, irregulares y de tendencia. Se sabe gracias a las investigaciones de Capistrán, Constandse y Ramos-Francia<sup>11</sup> que, desde 2001 (Figura 1), la inflación es explicada por el componente

5. Ali Choudhary y Haider, «Neural network models for inflation forecasting: An appraisal».

6. S. A. Jyothi Ran, V. V. Haragopal y M. Krishna Reddy, «Forecasting Inflation Rate of India using Neural Networks», *International Journal of Computer Applications* 158, número 5 (2017): 45-48, doi:10.5120/ijca2017912866.

7. Iffat A Gheyas y Leslie S Smith, «A Neural Network Approach to Time Series Forecasting», *Lecture Notes in Engineering and Computer Science* II, número 1 (2009): 1-5.

8. Mehdi Khashei y Mehdi Bijari, «An artificial neural network (p, d, q) model for timeseries forecasting», *Expert Systems with Applications* 37, número 1 (2010): 479-489, ISSN: 09574174, doi:10.1016/j.eswa.2009.05.044, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.044>.

9. Francisco Ortiz Arango, «Pronóstico de precios de petróleo: una comparación entre modelos GARCH y redes neuronales diferenciales», *Investigacion Economica* 76, número 300 (2017): 105-126, ISSN: 01851667, doi:10.1016/j.inveco.2017.06.002.

10. Said Benkachcha, Jamal Benhra e Hicham El Hassani, «Seasonal Time Series Forecasting Models based on Artificial Neural Network», *International Journal of Computer Applications* 116, número 20 (2015): 9-14.

11. Carlos Capistrán, Christian Constandse y Manuel Ramos-Francia, «Uso de Modelos Estacionales Para Pronosticar la Inflación a Corto Plazo», *Banco de México, Documento de Investigación*, número 05 (2009), <http://www.anterior.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/documentos-de->

estacional, debido a que lo indican los cambios en el espectro.<sup>12</sup>

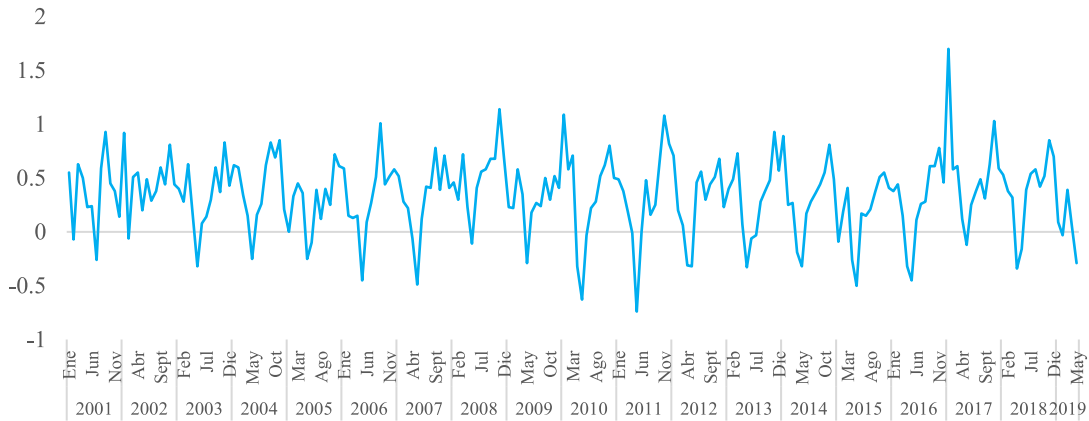


Figura 1: Inflación mensual enero 2001- mayo 2019 (%)

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Considerando la estacionalidad, se utiliza como una adecuación de la arquitectura propuesta por Nakamura<sup>13</sup> expresada de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \hat{\pi}_{t+j} = & L_1(w_{11}\pi_{-1} + w_{12}\pi_{-12} + b_1) + \\ & L_2\text{relu}(w_{21}\pi_{-1} + w_{22}\pi_{-12} + b_2) + \\ & L_3\text{relu}(w_{31}\pi_{-1} + w_{32}\pi_{-12} + b_3) \end{aligned} \tag{2}$$

Donde

$\pi_t$  = Inflación mensual     $L_n$  = Capas ocultas <sup>a</sup>

$w_n$  = Pesos                       $b_n$  = Sesgos (bias)

relu = Función de activación unidad lineal rectificadas

investigacion/banxico/%7B2ACF8314-62A9-47B8-511F-B6D003D20540%7D.pdf.

12. Ibídem.

13. Emi Nakamura, «Inflation forecasting using a neural network», *Economics Letters* 86, número 3 (2005): 373-378, ISSN: 01651765, doi:10.1016/j.econlet.2004.09.003.

La función relu se define como:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 0 \\ x & \text{si } x \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Una vez planteada la arquitectura, se entrena al modelo utilizando el 80 % de los datos y el resto para prueba. Esto se realiza para evitar que el modelo memorice los datos en vez de hacer generalizaciones. Se utiliza la librería Keras desarrollada en Python, haciendo uso de un optimizador nadam y una función de pérdida de error cuadrado medio.

## Resultados

Después de entrenar la RNA por 100 épocas, se pronostican los valores reservados para las pruebas, por lo que se evalúa el desempeño fuera de la muestra. Lo anterior quiere decir que son datos que el modelo no conoce, por lo que es necesario determinar si el modelo logró generalizar (aprender el patrón de la serie). Utilizando las métricas presentadas en el cuadro 1.

Cuadro 1: Desempeño de la red neuronal  
Fuente: Elaboración propia.

Error cuadrado medio <sup>a</sup>	0.000522
Raíz de error cuadrado medio	0.001071
Perdida empírica	0.027049

<sup>a</sup> Es el error con los datos de entrenamiento.

Como se puede observar, el modelo se desempeñó de manera favorable fuera de la muestra, logrando reducir la perdida empírica.<sup>14</sup> Como se mencionó anteriormente, logró capturar el patrón estacional.<sup>15</sup> (Figura 2)

14. La pérdida empírica es el error cuadrado medio con los datos de prueba, es decir fuera de la muestra.

15. En el Anexo 1 se encuentra una tabla con los valores observados y pronosticados.

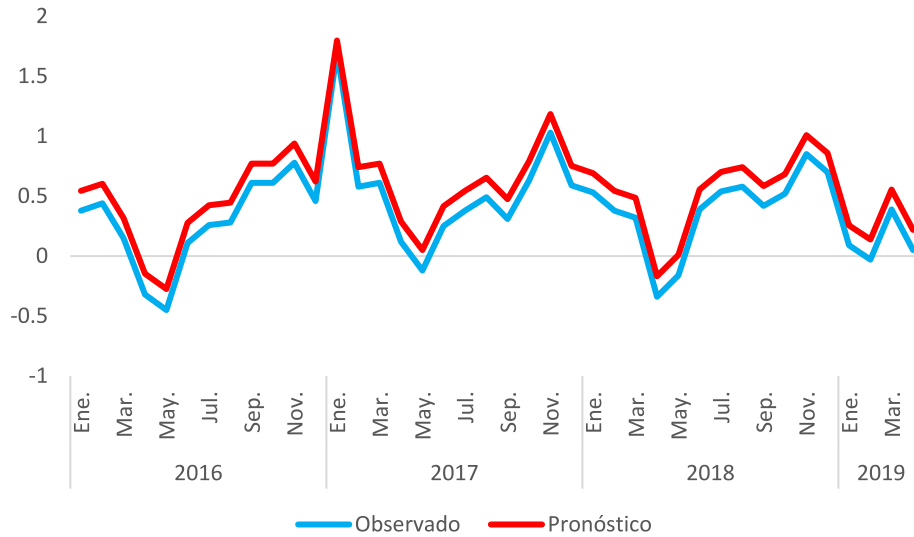


Figura 2: Pronóstico inflación enero 2016 – mayo 2019\* (%)

Fuente: Elaboración con estimación propia y datos de INEGI

\*Los datos se regresan a su escala original.

## Conclusiones

El enfoque propuesto de RNA para el pronóstico de la inflación es de gran utilidad por su sencilla implementación, mostrando que se pueden obtener buenos pronósticos sin la necesidad de realizar complejas transformaciones a los datos de entrada. Sin embargo, es importante realizar un diagnóstico de la serie para poder plantear una arquitectura adecuada. Por otra parte, se debe prestar atención a la cantidad de datos que se destinan a entrenamiento y prueba, el número de neuronas que se utilizan y el optimizador.

## Referencias

- Ali Choudhary, M., y Adnan Haider. «Neural network models for inflation forecasting: An appraisal». *Applied Economics* 44, número 20 (2012): 2631-2635. ISSN: 00036846. doi:10.1080/00036846.2011.566190.
- Benkachcha, Said, Jamal Benhra e Hicham El Hassani. «Seasonal Time Series Forecasting Models based on Artificial Neural Network». *International Journal of Computer Applications* 116, número 20 (2015): 9-14.
- Capistrán, Carlos, Christian Constandse y Manuel Ramos-Francia. «Uso de Modelos Estacionales Para Pronosticar la Inflación a Corto Plazo». *Banco de México, Documento de Investigación*, número 05 (2009). <http://www.anterior.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/documentos-de-investigacion/banxico/%7B2ACF8314-62A9-47B8-511F-B6D003D20540%7D.pdf>.
- Chakraborty, Chiranjit, y Andreas Joseph. «Machine learning at central banks». *Bank of England*, número 674 (2017). <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/working-paper/2017/machine-learning-at-central-banks.pdf?la=en&hash=EF5C4AC6E7D7BDC1D68A4BD865EEF3D7EE5D7806>.
- García Herrero, Jesús, Antonio Berlanga de Jesús, José Manuel Molina López, Miguel Ángel Patricio Guisado, Álvaro Luis Bustamante y Washington R. Padilla. *Ciencia de datos. Técnicas analíticas y aprendizaje estadístico*. Alfaomega, 2018.
- Gheyas, Iffat A, y Leslie S Smith. «A Neural Network Approach to Time Series Forecasting». *Lecture Notes in Engineering and Computer Science II*, número 1 (2009): 1-5.
- INEGI. *Banco de Información Económica*. Visitado 2 de julio de 2019. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0#divFV628194>.

- Jyothi Ran, S. A., V. V. Haragopal y M. Krishna Reddy. «Forecasting Inflation Rate of India using Neural Networks». *International Journal of Computer Applications* 158, número 5 (2017): 45-48. doi:10.5120/ijca2017912866.
- Khashei, Mehdi, y Mehdi Bijari. «An artificial neural network (p, d, q) model for timeseries forecasting». *Expert Systems with Applications* 37, número 1 (2010): 479-489. ISSN: 09574174. doi:10.1016/j.eswa.2009.05.044. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.044>.
- Nakamura, Emi. «Inflation forecasting using a neural network». *Economics Letters* 86, número 3 (2005): 373-378. ISSN: 01651765. doi:10.1016/j.econlet.2004.09.003.
- Ortiz Arango, Francisco. «Pronóstico de precios de petróleo: una comparación entre modelos GARCH y redes neuronales diferenciales». *Investigacion Economica* 76, número 300 (2017): 105-126. ISSN: 01851667. doi:10.1016/j.inveco.2017.06.002.

## Anexo 1 - Datos del Pronóstico

Cuadro 2: Datos del pronóstico

Fecha	Observado	Pronóstico
2010/01	1.09	0.5714899
2010/02	0.58	1.0488693
2010/03	0.71	0.8010428
2010/04	-0.32	0.8159418
2010/05	-0.63	-0.08992507
2010/06	-0.03	-0.22352482
2010/07	0.22	0.2158504
2010/08	0.28	0.41375428
2010/09	0.52	0.52902824
2010/10	0.62	0.65537584
2010/11	0.8	0.7893323
2010/12	0.5	0.89595366
2011/01	0.49	0.85028356
2011/02	0.38	0.7100383
2011/03	0.19	0.6618055
2011/04	-0.01	0.24061273
2011/05	-0.74	-0.09832424
2011/06	0	-0.3491177
2011/07	0.48	0.22049786
2011/08	0.16	0.60953313
2011/09	0.25	0.46014944
2011/10	0.67	0.53312296
2011/11	1.08	0.8784905
2011/12	0.82	1.1186364
2012/01	0.71	0.9500589

Cuadro 2: Datos del pronóstico (continuación)

Fecha	Observado	Pronóstico
2012/02	0.2	0.83396244
2012/03	0.06	0.42136508
2012/04	-0.31	0.2512618
2012/05	-0.32	-0.39565757
2012/06	0.46	-0.04118611
2012/07	0.56	0.62805444
2012/08	0.3	0.6588432
2012/09	0.44	0.4998109
2012/10	0.51	0.68649447
2012/11	0.68	0.8386251
2012/12	0.23	0.90210813
2013/01	0.4	0.56368715
2013/02	0.49	0.54411393
2013/03	0.73	0.5826381
2013/04	0.07	0.6425122
2013/05	-0.33	0.18956116
2013/06	-0.06	0.078191884
2013/07	-0.03	0.27608237
2013/08	0.28	0.24863139
2013/09	0.38	0.5035855
2013/10	0.48	0.60528165
2013/11	0.93	0.7209556
2013/12	0.57	0.9399393
2014/01	0.89	0.7441557
2014/02	0.25	0.97660285
2014/03	0.27	0.59223956



Cuadro 2: Datos del pronóstico (continuación)

Fecha	Observado	Pronóstico
2014/04	-0.19	0.42179948
2014/05	-0.32	-0.057785295
2014/06	0.17	-0.05655971
2014/07	0.28	0.28535497
2014/08	0.36	0.4749386
2014/09	0.44	0.56043506
2014/10	0.55	0.6445553
2014/11	0.81	0.8321007
2014/12	0.49	0.9376663
2015/01	-0.09	0.79690826
2015/02	0.19	0.21919516
2015/03	0.41	0.39677367
2015/04	-0.26	0.43836078
2015/05	-0.5	-0.08875688
2015/06	0.17	-0.1253267
2015/07	0.15	0.36642092
2015/08	0.21	0.40129545
2015/09	0.37	0.46191624
2015/10	0.51	0.6043917
2015/11	0.55	0.7723439
2015/12	0.41	0.7320019
2016/01	0.38	0.49695215
2016/02	0.44	0.53569204
2016/03	0.15	0.62896985
2016/04	-0.32	0.2511527
2016/05	-0.45	-0.26173994

Cuadro 2: Datos del pronóstico (continuación)

Fecha	Observado	Pronóstico
2016/06	0.11	-0.092521735
2016/07	0.26	0.29533598
2016/08	0.28	0.44146276
2016/09	0.61	0.50024676
2016/10	0.61	0.7689662
2016/11	0.78	0.79338044
2016/12	0.46	0.88127553
2017/01	1.7	0.6543445
2017/02	0.58	1.5381021
2017/03	0.61	0.72004163
2017/04	0.12	0.5627286
2017/05	-0.12	0.14028792
2017/06	0.25	0.14798601
2017/07	0.38	0.43575355
2017/08	0.49	0.5497052
2017/09	0.31	0.71163267
2017/10	0.63	0.58851117
2017/11	1.03	0.8480382
2017/12	0.59	1.0718004
2018/01	0.53	1.0616889
2018/02	0.38	0.7426045
2018/03	0.32	0.6401632
2018/04	-0.34	0.47509503
2018/05	-0.16	-0.06574397
2018/06	0.39	0.13166189
2018/07	0.54	0.5618778

Cuadro 2: Datos del pronóstico (continuación)

Fecha	Observado	Pronóstico
2018/08	0.58	0.71943235
2018/09	0.42	0.7122138
2018/10	0.52	0.67561316
2018/11	0.85	0.833177
2018/12	0.7	0.9694798
2019/01	0.09	0.8636409
2019/02	-0.03	0.38747752
2019/03	0.39	0.26014364
2019/04	0.05	0.31595504
2019/05	-0.29	0.21694665

Revista estudiantil del  
Centro de Estudios Económicos  
de El Colegio de México, A.C.  
Camino al Ajusco 20,  
Col. Ampliación Fuentes del Pedregal,  
C.P. 14110 Ciudad de México.  
almanaque@colmex.mx  
www.almanaque.colmex.mx  
Ejemplar en línea

Almanaque Económico es una revista de publicación anual de los estudiantes de la licenciatura en Economía del Centro de Estudios Económicos de El Colegio de México sin fines de lucro.

Los artículos y demás elementos publicados en esta revista son responsabilidad de sus autores, y no reflejan necesariamente la postura de Almanaque Económico, del Centro de Estudios Económicos o del Colegio de México o de las instituciones a las que estén asociados.