



Competencia en el sistema crediticio mexicano: una aproximación biológica

Competition in Mexican credit system: A biological approach

Octavio Gutiérrez-Vargas¹, Nora Gavira-Durón^{2,*1}, Salvador Cruz-Aké¹

¹Instituto Politécnico Nacional, México

²Universidad de las Américas Puebla, México

Recibido el 11 de junio de 2021; aceptado el 11 de noviembre de 2021

Disponible en Internet el: 11 de marzo de 2022

Resumen

Se analiza la velocidad y adaptación de bancos mexicanos que otorgan créditos, ante cambios de estrategia de sus competidores, con sistemas de ecuaciones diferenciales para un juego evolutivo “piedra, papel o tijera”; para el grado de competencia, se incluye un parámetro de mutación de estrategias del mercado. Los resultados muestran que para trayectorias de solución estables debe existir adaptación de estrategias en los competidores; el parámetro de mutación no cero, resulta una variable oculta que mide grado de competencia y rige la variable temporal tiempo de adaptación. La principal aportación es la inclusión de un movimiento browniano a la ecuación que modela la función de pagos de cada banco y un factor de mutación para modelar el efecto de la información asimétrica, lo que permite medir el grado de competencia industrial. Una limitación es no considerar los casos en que el grado de innovación sea pequeña o grande.

Código JEL: C02, C63, C73, H81

Palabras clave: métodos matemáticos; métodos de simulación; juegos dinámicos y estocásticos; créditos

* Autor para correspondencia

Correo electrónico: nora.gavira@udlap.mx (N. Gavira-Durón).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

<http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2022.2958>

0186- 1042/© 2019 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Contaduría y Administración. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Abstract

The speed and adaptation of Mexican banks that grant loans, in the face of changes in the strategy of their competitors, with differential equation systems for an evolutionary game of "rock, paper or scissors" are analyzed; for the degree of competition, a mutation parameter of market strategies is included. The results show that for stable solution trajectories there must be an adaptation of strategies in the competitors; the non-zero mutation parameter results in a hidden variable that measures the degree of competition and governs the adaptation time temporal variable. The main contribution is the inclusion of a Brownian movement to the equation that models the payment function of each bank and a mutation factor to model the effect of asymmetric information, which allows measuring the degree of industrial competition. A limitation is not to consider the cases in which the degree of innovation is small or large.

JEL Code: C02, C63, C73, H81

Keywords: mathematics methods; simulation models, stochastics and dynamic games; credits

Introducción

Durante años, los economistas han intentado predecir el comportamiento de agentes económicos racionales que buscan maximizar beneficios. Para ello el análisis industrial y/o la economía industrial se han valido de 2 grandes corrientes; la estructuralista y la basada en teoría de juegos.

En este trabajo se utiliza la tecnología provista por la teoría de juegos, relajando el supuesto de racionalidad perfecta; lo que implica que los agentes económicos pueden dudar o copiar de manera imperfecta estrategias que se saben ganadoras. En el caso de este trabajo se establece una contaminación por un proceso de difusión browniana el cual busca oscurecer el proceso de racionalidad económica perfecta planteado por la teoría de juegos.

Al analizar el problema de la colusión dentro de la organización industrial, existe la posibilidad de analizar un entorno en el que los participantes del mercado, de ahora en adelante jugadores; pueden decidir entre cooperar o competir. Si estos deciden competir existe la posibilidad de imitar las estrategias ganadoras de otros jugadores.

Contextualizando este concepto al presente trabajo, se plantea que el mercado de tarjetas (crédito al consumo) es una industria en donde los jugadores tienden a imitar las estrategias de otros jugadores cuando éstas resultan ganadoras dado el bajo costo que implica esta imitación. Aunque se trata de escenarios completamente distintos, usamos un símil entre el conocido juegos de piedra papel o tijeras, que representa un equilibrio inestable y dependiente de la respuesta del otro jugador, con las posibles estrategias que un mercado oligopólico puede presentar cuando hay algún grado de competencia entre ellos.

En el mercado crediticio masivo, el cambio de estrategia de promoción ya sea beneficios al cliente, estrategia de publicidad o márgenes de intermediación son estrategias fácilmente imitables una vez que han salido al mercado. Del mismo modo un intento de diferenciación por cualquiera de estos medios puede ser respondido ya sea mediante imitación o respuesta diferenciada de una forma relativamente rápida y de bajo costo. Lo que evidentemente rememora al conocido juego de piedra papel o tijeras.

A lo largo del trabajo se muestra la capacidad de imitación dentro del mercado, posteriormente se analiza el modelo del juego en el cual las funciones de pago llevan a equilibrios inestables que dependen de la respuesta del otro jugador, si no hay parámetro de mutación de estrategia, o un equilibrio cuando la mutación es suficientemente pequeña.

En este punto es cuando aparece otro de los conceptos clave del trabajo y es la posibilidad de que los agentes muten; es decir, cambien su estrategia en función de los pagos que reciben a cada paso del juego repetido como lo menciona Mobilia (2010). Este concepto rememora claramente las adaptaciones evolutivas que cualquier especie enfrenta en el juego de la vida. En particular nosotros basamos el análisis de la competencia evolutiva a partir del artículo de Sinervo (1996) en donde establece un juego similar al de piedra papel o tijeras que llevan a cabo las lagartijas para conseguir aparearse.

Esto no es una cuestión menor, pues se usa la tecnología ya constituida de la modelación matemática de la reproducción de esos reptiles primero para analizar la competencia de los bancos y después, a través de la mutación, obscurecer la supuesta racionalidad perfecta de todos los agentes económicos.

Por ejemplo, un banco no conoce a la perfección la estrategia del resto; sin embargo, es capaz de ver los resultados e imitarlo (aún de manera imperfecta). Los costos de extraer la información faltante y la capacidad de imitación son los factores que rigen la velocidad de mutación de la estrategia de cada banco; lo que implica que, una rápida adaptación de estrategia implica pocas barreras a la entrada de esa estrategia (competencia). Mientras que, una baja imitación implica un comportamiento de nicho (colusión), debido a que las entidades eligen no competir entre sí.

En resumen, este trabajo conjunta el uso de juegos de piedra papel o tijeras que busca explicar la estrategia reproductiva de las lagartijas con un movimiento browniano que obscurece la racionalidad perfecta de la cual gozan los agentes económicos en la mayor parte del modelado actual. El uso del browniano implica el desconocimiento de algunos elementos de toma de decisión que deberán de ser corregidos iterativamente sobre la marcha y que evidentemente cambian la estrategia de todos los involucrados en el juego, aceptando con ello las funciones de respuesta y los resultados de este.

Se iniciará el trabajo con una breve descripción de los elementos de competencia en el mercado de crédito al consumo masivo que enfrenta las mayores instituciones bancarias del país, analizando el problema a la luz de un juego repetido que ya ha sido previamente utilizado en el análisis microeconómico.

Posteriormente se hará patente el hecho de que el planteamiento de la imitación de estrategias del resto de los jugadores es razonable en esta industria dados los bajos costos de cambio de estrategia y la información imperfecta de la que dispone cada jugador una vez que la estrategia es hecha pública. También se hará patente el cercano símil que tiene el comportamiento microeconómico con el comportamiento reproductivo de las lagartijas. Es decir, se establecerá el claro vínculo que existe en la competencia en la cual la imitación es barata, haciendo un símil biológico que ya ha sido previamente estudiado.

Finalmente se establecerá que el juego de piedra papel o tijera se corresponde íntimamente con las posibles estrategias y las funciones de pago a las que tienen acceso los jugadores de ambos planteamientos.

Una vez establecido el sistema se oscurecerá la racionalidad propia de los agentes económicos bajo los análisis tradicionales de teoría de juegos por la “niebla” dada por la incertidumbre y el conocimiento imperfecto que se obtiene de los datos públicos una vez que la estrategia comercial es desarrollada. En este trabajo se analiza el efecto del factor de mutación de estrategias combinado con el efecto de la “niebla” del conocimiento imperfecto sobre los agentes económicos.

Se muestran conclusiones en las cuales se hace patente que las instituciones bancarias imitan en un lapso de entre 3 y 6 meses las estrategias exitosas de sus contrapartes y que se tiene un aparente equilibrio de corto plazo dentro de la industria.

El trabajo se divide en siete secciones, en la primera se encuentran los antecedentes de la investigación, en la segunda el objetivo, en la tercera se describe la clasificación de las posibles colusiones al interior de un oligopolio, la cuarta sección trata sobre la cartera crediticia mexicana, la quinta contiene información sobre la metodología, la sexta sección corresponde a la aplicación del modelo en el sistema crediticio y posteriormente se muestran las conclusiones, alcances y limitaciones del modelo.

Antecedentes

Los juegos evolutivos se han utilizado para analizar diversos entornos de comportamiento como es el caso de Hosseini-Motlagh, Johari y Zirakpourdehkordi (2020) quienes proponen un modelo de juego evolutivo para analizar el comportamiento de una población de productores con limitaciones financieras en Irán que obtienen el apoyo financiero de un distribuidor dominante en función de su inversión a largo plazo;

mientras que Huang y Zhu (2019) proponen un juego dinámico con información incompleta, para modelar una interacción a largo plazo entre un atacante sigiloso y un defensor proactivo en seguridad ciberfísica.

Trabajos como el de Díaz, Sosa y Cabello (2019) buscan los factores que influyen en el sobreendeudamiento de los hogares por medio de redes neuronales, determinan que el factor principal es la existencia de un crédito bancario. Hao y Gao (2019) utilizan la teoría de juegos para establecer el modelo de préstamo financiero privado y se construye de acuerdo con las restricciones potenciales entre el sujeto y el objeto en la relación financiera de la demanda.

Más aún, estudios como el de Prasanna y Sujit (2019) realizan un modelo mediante análisis de redes para comprender el riesgo sistémico y orientar el diseño de la regulación financiera. Analizan cómo los modelos de red y los basados en enfoques epidemiológicos, ofrecen una descripción convincente de la estructura de los sistemas financieros del mundo real y sobre los diferentes mecanismos de contagio que se observaron durante la crisis financiera global.

Artículos como el de Hofbauer y Sigmund (1998) o el de Toupo y Strogatz (2015) muestran el desarrollo del modelo; también existen aplicaciones en dispersión local como en la de Frean y Abraham (2001). Otros estudios donde se analiza un entorno similar es el de juegos dinámicos como en Vasal, Sinha y Anastasopoulos (2019) y Gensbittel y Grün (2018), mientras otros analizan organismos que tienen un comportamiento similar, pero permiten cambios en la estrategia del juego, para obtener mayor probabilidad de ganancia, Kang et al. (2013).

Por otro lado, el juego “piedra, papel o tijera” (conocido así en algunos países de Latinoamérica) donde la piedra tiene ventaja sobre la tijera, la tijera tiene ventaja sobre el papel y el papel sobre la piedra, también es conocido como *janken* en Japón, *paper-scissors-stone* o *rock-paper-scissors* en países de habla inglesa, Kodama et al. (2016) e incluso *yaquenpoh* en Chile, Perú y Brasil, en este trabajo se utilizará el primer nombre.

Este juego ha sido modelado y se ha aplicado a sistemas biológicos como es el caso de la aplicación a la lagartija *Uta stansburiana* descrita en Sinervo y Curt (1996) donde existen tres tipos de lagartijas: una es agresiva y cubre grandes terrenos; otra es menos agresiva y cubre pequeños territorios y la tercera no es agresiva, pero puede parecer hembra, lo que le facilita la interacción. Los individuos aplican una de estas tres posibles estrategias y compiten entre ellos para reproducirse, lo que genera un ciclo oscilante en el número de especímenes usando cada estrategia.

Otro ejemplo que merece ser mencionado es el de Kerr et al. (2002), en donde se analiza el comportamiento de la bacteria *Escherichia coli*, la cual puede presentar estrategias distintas de reproducción, lo que lleva a juegos y equilibrios similares. Estudios parecidos son los de Kirkup y Riley (2004) y Cameron, Whyte y Antonovics (2009).

El análisis que se realizará se asemeja al de Hofbauer y Sigmund (1998), pero en este caso se aplica sobre el juego de “piedra, papel o tijera”, que supone que no existe una estrategia dominante y que cada jugador puede escoger de forma indiferente (sin costos) cualquiera de las tres estrategias.

Objetivo

El principal objetivo del presente trabajo es analizar la velocidad y tipo de adaptación de los bancos mexicanos en el otorgamiento de créditos, ante cambios en las estrategias de sus competidores. Dicho objetivo se alcanzará por medio de simulaciones de ecuaciones diferenciales con un proceso estocástico incorporado.

La competencia entre empresas

Cuando existe competencia perfecta, los productores son tomadores de precios, cuando esto no ocurre, sólo algunos competidores determinan el precio y entonces estos tienen poder de mercado; esta estructura se puede definir como un intermedio entre el monopolio y el oligopolio. Según la teoría económica, cuando el poder de mercado recae sobre una empresa se dice que existe un monopolio, cuando son dos; duopolio y cuando son más se habla de un oligopolio Mas-Collel, Whinston y Green (1995).

Se define a una empresa como dominante cuando puede actuar sin considerar a sus rivales o a los consumidores. En el caso del oligopolio, este poder recae sobre un conjunto mayor de dos empresas capaces de mover el precio de mercado mediante un acuerdo entre ellas (colusión). Este tipo de organización permite que la empresa pueda tomar ventaja de su posición para explotar el mercado y así conservar su posicionamiento, Cuervo y García (2004). Un ejemplo de este fenómeno de información asimétrica es el deficiente encadenamiento productivo de las MIPYMES. En este ecosistema, el productor grande conoce y puede modificar los precios del mercado objetivo o de la cadena de suministros dado su acceso privilegiado por poder de marca o participación de mercado, mientras que las compañías pequeñas están supeditadas a las elecciones de la compañía grande, para más detalle véase Zevallos y Vallejo (2003).

En este trabajo se distingue entre tres tipos distintos de cooperación al interior del oligopolio, a saber:

- Cártel: descrito en Schmalensee (1978), Scherer (2002), Harrington (2005),
- Holding: descrito en Kamien y Zang (1990) y
- Trust: descrito en Burns (1986), Wilkinson y Burchell (1996).

De acuerdo con Sabino (1991) se define a un cártel como un grupo de empresas concentradas en una zona, donde mantienen acuerdos en la cantidad y precio del bien suministrado en ese sector o zona geográfica. El holding se define por una asociación empresarial en las que se presenta un intercambio de acciones, mientras que en el trust existe un control total de una empresa (subsidiaria) a manos de otra (controladora).

La determinación del grado de competencia en una industria es un tema de actualidad en México. En trabajos como el de COFECE (2017), se analiza el efecto de grupos de AFORES que realizan acuerdos para ser beneficiadas, por ejemplo, en el aspecto de disminuir la competencia por sus clientes y con ello el gasto comercial que realizaban.

La aplicación del modelo de “piedra, papel y tijera” en el análisis de los mercados; no necesariamente mercado bancario; tiene antecedentes en trabajos como el de Hopkins y Seymour (2002), quienes muestran al oligopolio como un juego de “piedra, papel y tijera”. Incluso el oligopolio se puede considerar en algunos casos como colusión, Maskin y Tirole (1988).

Los bancos cuentan con productos que tienen gran similitud entre ellos, por ejemplo, el mercado de tarjetas de crédito “Oro” (segmento medio). Este producto puede encontrarse en la mayoría de los bancos, con cambio de nombre, pero mismas prestaciones. Esto indica que puede darse la competitividad por ofrecer un producto similar al consumidor, por esto, se puede realizar la comparativa entre bancos bajo el supuesto que ofrecen productos muy parecidos.

En la tabla 1 se muestra la comparación entre tarjetas “Oro” de los tres bancos¹ más grandes de México (BBVA Bancomer, Santander y Citinamex).

Tabla 1
Beneficios de las tarjetas de crédito

Beneficios	Bancos		
	A	B	C
Anualidad Cero			<input checked="" type="checkbox"/>
Puntos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Monto mínimo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Parcialidades de compras		<input checked="" type="checkbox"/>	
Aplicación móvil	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fuente: Tarjetas Oro (según portales de los bancos), elaboración propia con Excel

¹ La información fue obtenida de sus páginas de internet.

Como se puede observar, comparten características muy similares. Si bien la comparación no abarca todos los aspectos contractuales de cada producto, esta fue hecha con la información disponible al público en sus respectivos sitios de red.

El sistema crediticio mexicano

El sistema financiero mexicano ha pasado por grandes cambios y momentos de crisis, uno de los más conocidos es “la crisis del tequila” cuyo estudio ha sido tema de investigación, como en V.g. Hernández y López (2000), Murillo (2002) y Gómez (2014). En estos trabajos se concluye que años antes de la crisis y aún después de esta, con su consecuente privatización, los bancos mantenían índices de Herfindahl Hirschman (HH) bajos (i.e. no tenían concentración) en su cartera de crédito comercial para los periodos comprendidos entre 1991 y 2000, Murillo (2002). De acuerdo con la ponderación obtenida de The United State Departmen of Justice (2010) indica los siguientes niveles de concentración para el índice HH:

- a) Valores comprendidos debajo de 0.01 considera alta competitividad.
- b) Valores menores a 0.15 indica que no existe concentración.
- c) Valores mayores a 0.15 y menores de 0.25 indican concentración moderada.
- d) Valores mayores a 0.25 indican alta concentración.

La discusión académica sobre la concentración bancaria suele girar en torno a las características de los productos y los grados de concentración; sí sólo se toma en cuenta esta información, se puede pensar que el comportamiento del mercado corresponde a un cártel. Sin embargo, trabajos como el de COFECE (2017) aportan evidencia empírica para afirmar que existe un trust, dada la evidencia pública de asociaciones de bancos y la estabilidad de las participaciones de mercado.

La cartera de crédito del sistema bancario mexicano se conforma por las 60 instituciones que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2
 Entidades Financieras consideradas en el estudio

Entidad		
1	HSBC	21 Banco Azteca
2	GE Money	22 Autofin
3	Ixe	23 Barclays
4	Inbursa	24 Compartamos
5	Interacciones	25 Banco Ahorro Famsa
6	Banca Mifel	26 Multiva
7	Scotia Bank	27 Actinver
8	Invex	28 Banco Wal-Mart
9	Bansí	29 Intercam Banco
10	Afirme	30 BanCoppel
11	Accendo Banco	31 ABC Capital
12	American Express	32 Biafirme
13	Bank of America	33 Consubanco
14	MUFG Bank	34 Volkswagen Bank
15	J. P. Morgan	35 Banco Deuno
16	Monex	36 CIBanco
17	Ve por Más	37 The Bank of New York Mellon
18	ING	38 Banco Base
19	Deutsche Bank	39 Banco Bicentenario
20	Credit Suisse	40 Bankaool
		41 Pagatodo
		42 Forjadores
		43 Inmobiliario Mexicano
		44 Dondé Banco
		45 Bancrea
		46 Finterra
		47 ICBC
		48 Shinhan
		49 Mixuho Bank
		50 Bank of China
		51 Banco S3
		52 KEB Hana Bank
		53 Banamex Consolidado
		54 BBVA Bancomer Consolidado
		55 Santander Consolidado
		56 Banco del Bajío Consolidado
		57 Sabadell Consolidado
		58 Banregio Consolidado
		59 Banorte Consolidado
		60 Total Banca Múltiple Consolidado

Fuente: Elaboración propia con datos de la CNVB (2020), referente a Banca Múltiple

La figura 1 muestra la cartera crediticia vigente y su crecimiento, de diciembre de 2007 hasta noviembre de 2019 de manera mensual.

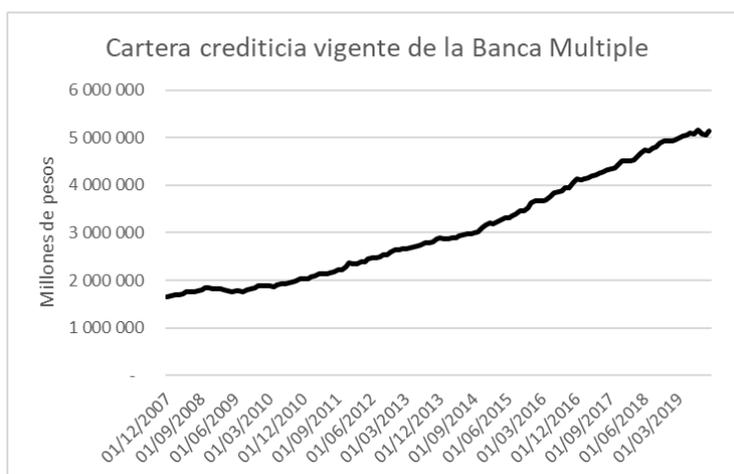


Figura 1. Crecimiento de la cartera vigente total de banca múltiple.

Fuente: Elaboración propia con datos de la CNVB (2020), referente a Banca Múltiple.

Mientras que, la concentración de activos de los bancos de acuerdo con el índice *HH*, con datos de la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV) en el mismo periodo, se muestra en la figura 2.

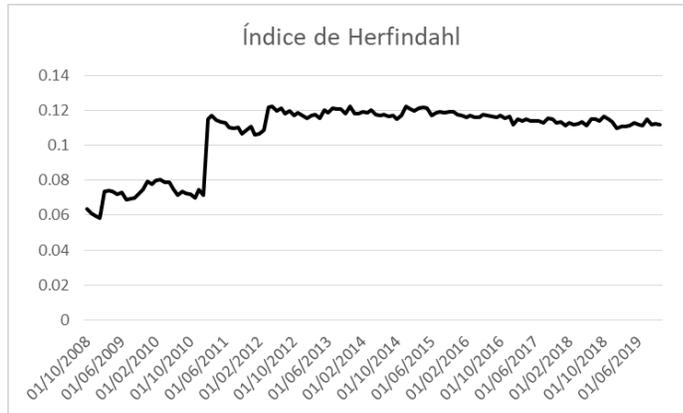


Figura 2. Índice de Herfindahl-Hirschman Normalizado.

Fuente: Elaboración propia con datos de la CNVB (2020), referente a Banca Múltiple.

Se puede observar que, para este caso, el índice *HH* indica que no existe concentración.

En el sistema bancario mexicano, existen 12 instituciones³ que cuentan con más de cien mil tarjetas colocadas, de las cuales, BBVA Bancomer, Banamex y Santander tienen una participación del 61% del mercado en número de tarjetas de crédito y el 67%, si consideramos el saldo de crédito otorgado, Banxico (2021); por lo que podemos analizar el cambio de estrategias entre estos bancos podemos obtener resultados aplicables a todo el mercado.

Al considerar el tamaño de sus activos y su cartera crediticia de forma individual, a los tres agentes más representativos del sistema: BBVA Bancomer, Santander y Banamex se les considerará como el total del sistema, en el presente trabajo. La proporción de mercado que mantiene cada uno de ellos se muestra en la Figura 3.

³ HSBC, Banregio, Santander, Banamex, American Express, Inbursa, Invex, BBVA Bancomer, Banorte, Scotiabank, Banco Famsa y BanCoppel.

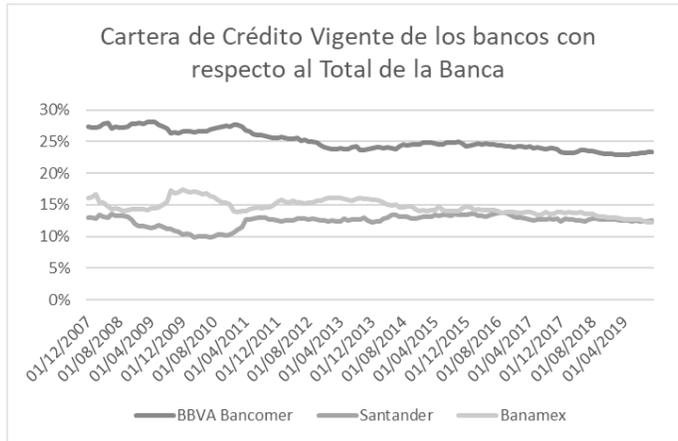


Figura 3. Porcentajes de Carteras de los principales bancos en México.
Fuente: Elaboración propia con datos de la CNVB (2020), referente a Banca Múltiple.

Se puede observar que el comportamiento de los tres es similar, puesto que las participaciones de mercado permanecen parcialmente estables.

Al considerar a los tres bancos como el total del sistema bancario mexicano, se obtiene la Figura 4, los cuales serán los valores para el modelo de piedra, papel y tijera.

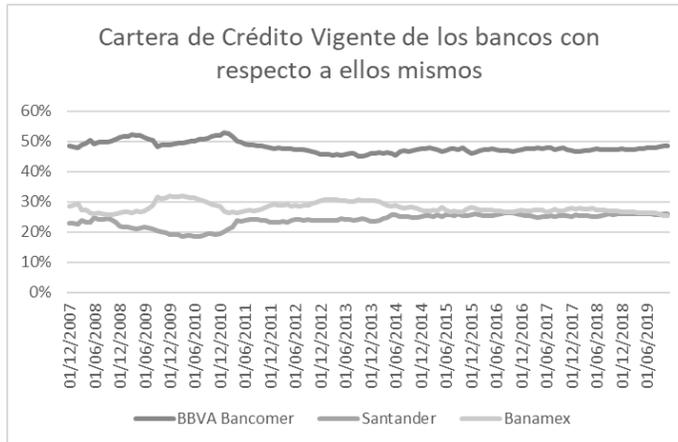


Figura 4. Porcentajes de Carteras de los bancos BBVA Bancomer, Santander y Banamex.
Fuente: Elaboración propia con datos de la CNVB (2020), referente a Banca Múltiple.

El modelo propuesto vincula la proporción de mercado de cada uno de estos bancos con la estrategia de los dos restantes, permitiendo que mute (cambie) ante el éxito de otro jugador; también muestra que, al menos en las concentraciones crediticias, el mercado es competitivo; ya que el tiempo de respuesta es cercano a los tres meses, tiempo en el cual se revalúan las calificaciones crediticias. Esta evidencia sugiere una forma de competencia monopolística.

Metodología

El estudio se realiza por medio de sistemas de ecuaciones diferenciales estocásticas para un juego evolutivo dinámico tipo Nowak (2006), o desde el punto de vista de estrategias evolutivas no cooperativas de Zhou (2016), aplicado al juego “piedra, papel o tijera”.

La principal aportación del presente trabajo es la inclusión de un movimiento browniano a la ecuación que modela la función de pagos de cada tipo de banco y la de un factor de mutación para modelar el efecto de la información asimétrica, lo que permite medir el grado de competencia industrial a través del factor de mutación.

El resultado del juego “piedra, papel o tijera”, puede expresarse mediante la relación de pagos de cada agente, ante cada estrategia de sus adversarios, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3
 El problema piedra, papel y tijera como función

Estrategias posibles		Piedra P ₁	Papel P ₂	Tijera P ₃
Piedra	P ₁	0	- ε	1
Papel	P ₂	1	0	- ε
Tijera	P ₃	- ε	1	0

Fuente: Elaboración propia con Excel

De la Tabla 3 se tiene que $P_{i,i=1,2,3}$ las cuales corresponden a las densidades de cada jugador, se introduce $s(t)$ con elementos tales como $s_{i,i \in (P_1, P_2, P_3)}$ cuya ecuación de replicación está dada por $(s_i) = [\pi_i - \bar{\pi}]$.

A lo anterior se agrega el factor de mutación, lo cual le permite a cada jugador cambiar de estrategia, esto se observa en (1).

$$P_1 \xrightarrow{\mu} \begin{Bmatrix} P_2 \\ P_3 \end{Bmatrix}, P_2 \xrightarrow{\mu} \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_3 \end{Bmatrix}, P_3 \xrightarrow{\mu} \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix} \tag{1}$$

De acuerdo con Mobilia (2010) (1) también puede describirse mediante el sistema de ecuaciones (2) el cual indica la dinámica del sistema.

$$\begin{aligned}\dot{P}_1 &= P_1(P_3 - \epsilon P_2 - (1 - \epsilon)(P_1 P_2 + P_2 P_3 + P_1 P_3)) + \mu(1 - 3P_1) \\ \dot{P}_2 &= P_2(P_1 - \epsilon P_3 - (1 - \epsilon)(P_1 P_2 + P_2 P_3 + P_1 P_3)) + \mu(1 - 3P_2) \\ \dot{P}_3 &= P_3(P_2 - \epsilon P_1 - (1 - \epsilon)(P_1 P_2 + P_2 P_3 + P_1 P_3)) + \mu(1 - 3P_3)\end{aligned}\tag{2}$$

dónde:

P_i : Es el competidor $i = 1, 2, 3$. En este trabajo, representan bancos.

ϵ : Representa la ventaja competitiva.

μ : Es la probabilidad de cambio de estrategia, la cual puede ser una función de tiempo o una función de adaptación de una estrategia propia de un juego evolutivo.

Este sistema se puede ver como un juego dinámico Nowak (2006), o desde el punto de vista de estrategias evolutivas no cooperativas de Zhou (2016). Al utilizar:

$$P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) = 1 \text{ de (1) como } P_3(t) = 1 - P_1(t) + P_2(t),$$

se presenta la proporción de mercado del jugador tres como función de los otros dos jugadores.

Al incorporar un proceso estocástico $dW_i(t)$ en el sistema (2), mediante un movimiento Browniano estándar, se tiene que $0 < s < t$, por lo que los incrementos en $W_{t_i} - W_{t_{i-1}}$ son $N(0, t - s)$ (Venegas Martinez, 2008).

Si se considera que la población es de tamaño $N < \infty$, el promedio de la muestra aproxima la tasa de la ecuación y el sistema (2) se transforma en el sistema (3):

$$\begin{aligned}\dot{P}_1 &= P_1(P_3 - \epsilon P_2 - (1 - \epsilon)(P_1 P_2 + P_2 P_3 + P_1 P_3)) + \mu(1 - 3P_1) + dW_1(t) \\ \dot{P}_2 &= P_2(P_1 - \epsilon P_3 - (1 - \epsilon)(P_1 P_2 + P_2 P_3 + P_1 P_3)) + \mu(1 - 3P_2) + dW_2(t) \\ \dot{P}_3 &= P_3(P_2 - \epsilon P_1 - (1 - \epsilon)(P_1 P_2 + P_2 P_3 + P_1 P_3)) + \mu(1 - 3P_3) + dW_3(t)\end{aligned}\tag{3}$$

Mediante (2) y en ausencia de mutación, $\mu = 0$, se tiene un equilibrio (o punto fijo):

$$s^* = \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}\right).$$

Este punto fijo s^* indica la participación de mercado, también se hace notar que la inclusión del movimiento browniano dentro del cambio de estrategia de cada jugador implica, introducir capacidad de adaptación a cada jugador.

Una de las grandes diferencias entre la teoría de juegos clásica donde la mejor estrategia implica un equilibrio de Nash mixto, es que este planteamiento permite incorporar al menos parcialmente la posibilidad de adaptación de cada jugador, puesto que resulta razonable entender que, durante un entorno de juego cambiante, las funciones de pago también lo sean y con ello los equilibrios, al menos de corto plazo, del sistema. Este rol de adaptación lo toma el factor de mutación μ .

Para enfatizar la importancia de adaptación en el juego, en este trabajo se analizan los casos sin mutación ($\mu = 0$) y con mutación ($\mu \neq 0$).

El parámetro de ventaja competitiva, ϵ , puede tomar los siguientes valores:

- $\epsilon < 1$: Indica un sistema atractor.
- $\epsilon = 1$: Es un punto estable.
- $\epsilon > 1$: Conduce a un sistema inestable y la trayectoria sale del retrato fase.

Es importante enfatizar que la inclusión de un factor de mutación o cambio de estrategia da la estabilidad al sistema.

Estudio de caso

Para analizar la velocidad y tipo de adaptación de los bancos mexicanos en el otorgamiento de créditos, ante cambios en las estrategias de sus competidores, se considera un valor distinto de cero para el parámetro de mutación μ y se calcula con un tiempo de paro en los meses establecidos, considerando $\sum_i^3 |s^* - \hat{P}_i| \leq 0.05$, donde s^* son los puntos fijos interiores mencionados en la sección anterior.

Las aproximaciones a las soluciones s^* , de las ecuaciones diferenciales, se determinan por medio del método numérico de *Runge Kutta* de 4to orden, Chapra et al. (2007) como en el caso de las ecuaciones (1) y se consideran tres intervalos de tiempo para el parámetro de mutación μ :

- 1 mes, para un producto fácil imitar, como cambiar una promoción en una tarjeta de crédito.
- 6 meses para un producto más elaborado que requiere un proceso de examinación (podría ser un nuevo software interno o una aplicación móvil) dado que los grandes corporativos cuentan con personal calificado o *outsourcings* que garantizan entregar una copia de un producto determinado.
- 3 meses para el punto medio de un producto sencillo y uno elaborado.

En las soluciones se esperarán parámetros de mutación μ muy altos (cerca de 1) si las instituciones crediticias se adaptan rápidamente y muy pequeños (cerca de 0) si existen barreras muy fuertes a la entrada, que dificultan la adaptación. El resultado puede ser un número indirecto del grado de competencia en un sistema oligopólico.

El parámetro de mutación μ resultante en los tres periodos de estudio, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4
 Estimaciones para μ

Mes	Valor encontrado
1	0.593574345
3	0.223951997
6	0.126525566

Fuente: Elaboración propia con Excel

El valor del parámetro de mutación μ indica, la suma de las diferencias de un punto estable teórico s^* , contra la participación del agente en el mercado P_i . Las soluciones muestran que las instituciones se adaptan rápidamente cuando el producto es fácil de imitar; mientras que a medida que se incrementa el grado de complejidad se incrementa el tiempo de adaptación.

Asumiendo el valor de la ventaja comparativa ϵ , y siguiendo la metodología propuesta por Kerr et al. (2002), para el cálculo de la aptitud de un jugador con respecto a otro, se tiene:

$$w(x, y) = \frac{\ln(x_F/x_0)}{\ln(y_F/y_0)}$$

donde w es la competencia entre jugadores x relativa a y y x_0, y_0 son las densidades iniciales y x_F, y_F son las densidades después de un periodo de actividad. Este cálculo, lleva a un valor de la ventaja competitiva de un banco con respecto a otro de $\epsilon = 1.54$.

El objetivo del presente trabajo es analizar la velocidad y tipo de adaptación de las instituciones; por lo que, el factor de mutación que se utiliza en las simulaciones del modelo propuesto es $\mu = 0.22$. Este resultado es compatible con el entorno del sistema bancario mexicano, ya que empíricamente se ha visto que este tipo de productos tiene un periodo de adaptación de entre 3 y 6 meses.

A continuación, se muestran los resultados de las simulaciones de solución del sistema -de ecuaciones diferenciales- considerando el modelo clásico donde no existe un factor de mutación estocástico y las soluciones con su inclusión. En las figuras 5 a 8 se muestran las simulaciones de los sistemas.

En la Figura , se muestra la simulación de las soluciones del sistema en el caso clásico, con $\epsilon = 1.54$ y probabilidad cero de que los bancos cambien de estrategia, sin movimiento estocástico ($\mu = 0$); es decir el caso clásico.

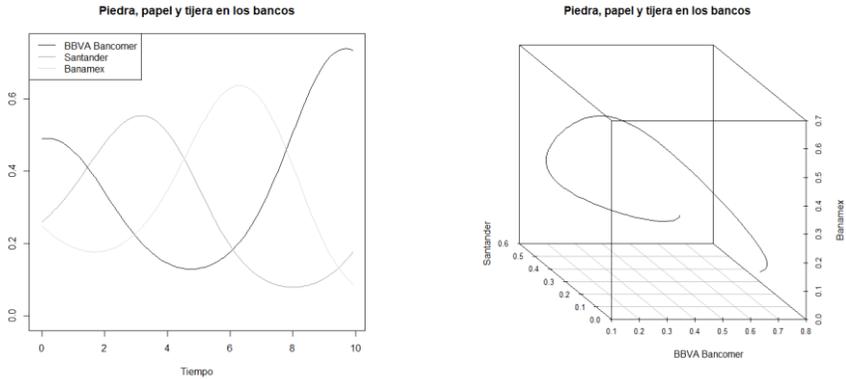


Figura 5. Simulación bancos en el modelo piedra, papel y tijera $\epsilon = 1.54$, $\mu = 0$.
 Fuente: Elaboración propia con R-project y paquete Sim.DiffProc.

Como $\epsilon=1.54$, entonces, el punto interior es inestable y el retrato fase forma una conexión heteroclínica (soluciones periódicas o caóticas), lo anterior sí la tasa de mutación permanece en cero ($\mu=0$); es decir, si los bancos no innovan. Con lo mencionado se genera un estado de inestabilidad en el sistema.

Al considerar que cada que un banco innova un producto crediticio, otros bancos tratan de modificar sus planes en plazos de 3 a 6 meses, para no quedar fuera de mercado; se tienen las simulaciones de soluciones que se muestran en la figura 6.

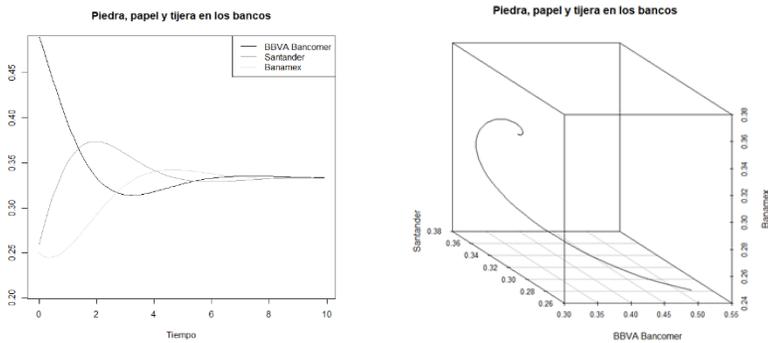


Figura 6. Simulación bancos en el modelo piedra, papel y tijera $\epsilon=1.54, \mu=0.22$
 Fuente: Elaboración propia con R-project y paquete Sim.DiffProc

El resultado del modelo cambia radicalmente cuando se permite la mutación de estrategias (lo que resulta intuitivamente plausible en un entorno con algún grado de competencia). Se genera un proceso de adaptación de la competencia y el retrato fase forma unas trayectorias de equilibrio estable.

En los modelos anteriores no se considera el parámetro de mutación estocástico, mismo que se incluye en los resultados del sistema que se muestra en la Figura 7, con $\epsilon = 1.54$ y suponiendo que no existe innovación por parte de la competencia $\mu = 0$ con movimiento estocástico.

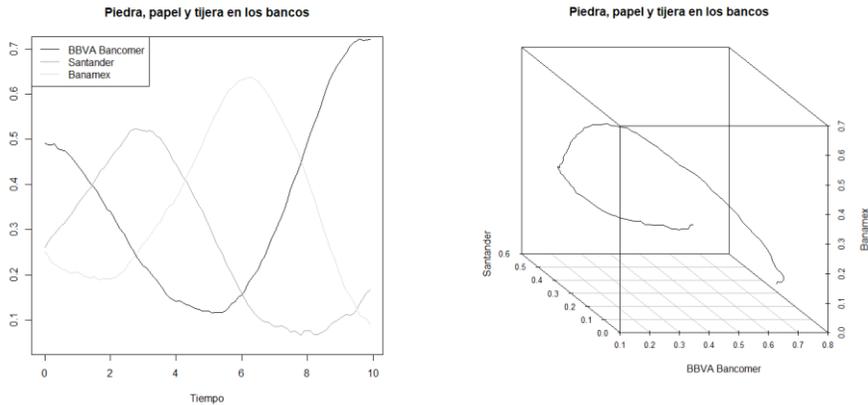


Figura 7. Simulación bancos en el modelo piedra, papel y tijera $\epsilon = 1.54$, $\mu = 0$, dW_t .
Fuente: Elaboración propia con R-project y paquete Sim.DiffProc.

Los resultados muestran que, si no existe innovación en la competencia, se genera inestabilidad en el sistema y se puede llegar a un colapso en el sistema crediticio mexicano al existir concentración de mercado.

Finalmente, en la Figura 8, se muestran los resultados de las simulaciones del sistema cuando se considera un movimiento estocástico en el proceso de adaptación de la competencia. Al sistema se le incluyó un movimiento browniano sin saltos, el cual supone que las variables que no se ven siguen una distribución normal $\mu=0.22, dW_t$ y considerando $\epsilon=1.54$.

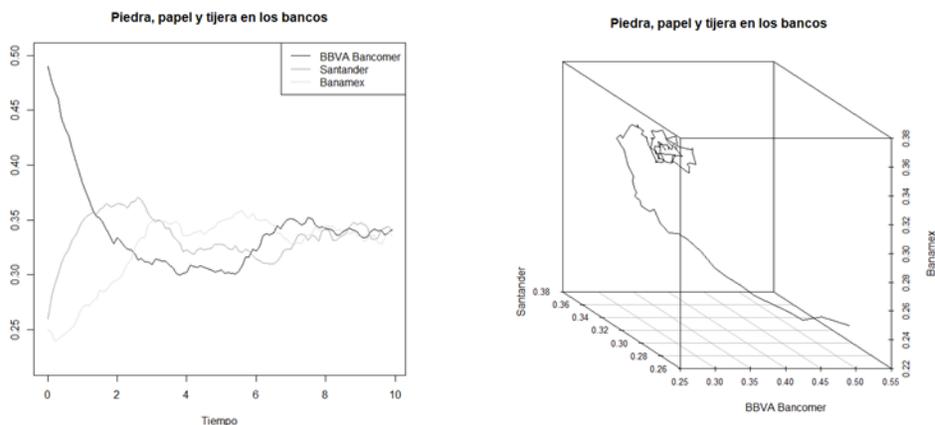


Figura 8. Simulación en el modelo piedra, papel y tijera $\epsilon = 1.54$, $\mu = 0.22$, dW_t .
 Fuente: Elaboración propia con R-project y paquete Sim.DiffProc.

El resultado muestra que se genera un proceso de adaptación de la competencia, por medio de trayectorias de equilibrio estables; se puede observar que, aunque existen movimientos en el corto plazo, a través del tiempo se dirige a un punto estable.

En las figuras anteriores se muestra el efecto estabilizador del parámetro de mutación en el sistema de soluciones y su capacidad de aproximar las barreras a la innovación mediante la imitación.

Conclusiones

En un entorno de competencia imperfecta donde existen incentivos a las empresas para caer en la práctica de la colusión y cuyos efectos son costosos para los consumidores, es importante conocer el grado de competencia en una industria. La manera de aumentar la participación de mercado es aumentando el riesgo o a través de cambios tecnológicos, cuando se incorpora la tasa de mutación se postula que exista una tasa de cambio de estrategia de una compañía con respecto a sus rivales; a mayor competencia es más fácil que se repliquen los productos.

En este trabajo se analizó la velocidad y tipo de adaptación de los bancos mexicanos en el otorgamiento de créditos. Por medio de sistemas de ecuaciones diferenciales para un juego evolutivo dinámico tipo Nowak (2006), o desde el punto de vista de estrategias evolutivas no cooperativas de Zhou (2016), aplicado al juego “piedra, papel o tijera”.

Con lo anterior, se desarrolla una herramienta que permite medir el grado de competencia a través del parámetro de mutación con las estrategias del mercado; con esta calibración se tienen datos de competencia de mercado. Este parámetro se mueve hasta que se igualan a los tiempos observados, lo que permite medir el grado de competencia por medio del grado de replicación de productos.

Los resultados muestran que para que las trayectorias de solución sean estables, debe existir la adaptación de estrategias en los competidores, cuando uno de ellos innova en un producto de mediana adaptación de 3 a 6 meses. El parámetro de mutación distinto de cero se convierte en una variable oculta que mide el grado de competencia y que rige la variable temporal del tiempo de adaptación.

La principal aportación del presente trabajo es la inclusión de un movimiento browniano a la ecuación que modela la función de pagos de cada tipo de banco y la de un factor de mutación para modelar el efecto de la información asimétrica, lo que permite medir el grado de competencia industrial a través del factor de mutación.

Una de las principales limitaciones de este trabajo es que, si bien existen umbrales de estabilidad en el sistema de adaptación a la elevada competencia en el mercado crediticio mexicano, el modelo no considera los casos en que el grado de innovación sea pequeña o grande, queda pendiente la tarea para los siguientes trabajos.

Referencias

- Akerlof, G. A. (1978). The market for “lemons”: Quality uncertainty and the market mechanism. *Uncertainty in Economics*, 235-251. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-214850-7.50022-X>
- Banxico. (2021, 01 08). RIB tarjetas de crédito. Recuperado de: Indicadores básicos de tarjetas de crédito: <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/rib-tarjetas-de-credito/%7B5A1A486C-978A-237B-97A0-5BA767C9F2AA%7D.pdf>
- Burns, M. (1986). Predatory pricing and the acquisition cost of competitors. *Journal of Political Economy*, 94(2), 266-296. doi:<https://doi.org/10.1086/261374>
- Cameron, D., Whyte, A., y Antonovics, J. (2009). Parasite–grass–forb interactions and rock–paper–scissor dynamics: predicting the effects of the parasitic plant *Rhinanthus minor* on host plant communities. *Journal of Ecology*, 97(6), 1311-1319. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01568.x>
- Chapra, S. C., Canale, R. P., Ruiz, R. S., Mercado, V. H., Díaz, E. M., y Benites, G. E. (2007). *Métodos numéricos para ingenieros (5ta ed., Vol. 5)*. México: McGraw-Hill. Retrieved from <http://artemisa.unicauca.edu.co/~cardila/Chapra.pdf>

- Chiappori, P.-A., y Salanie, B. (2000). Testing for asymmetric information in insurance markets. *Journal of political Economy*, 108(1), 56-78. doi:<https://doi.org/10.1086/262111>
- COFECE. (2017, Septiembre). Comisión Federal de Competencia Económica. Retrieved Octubre 19, 2018, from COFECE: <https://www.cofece.mx/wp-content/uploads/2017/11/AforesVer2.pdf#pdf>
- Crawford, G. S., Pavanini, N., y Schivardi, F. (2018). Asymmetric information and imperfect competition in lending markets. *American Economic Review*, 108(7), 1659-1701. doi:<https://doi.org/10.1257/aer.20150487>
- Cuervo García, À. (2004). Dinámica empresarial y consolidación sectorial. *Universia Business Review*, 96-105. Retrieved 06 11, 2020, from <https://www.redalyc.org/pdf/433/43300109.pdf>
- Díaz, R., Castro S. M., y Rosales C. A. (2019). Determinantes del endeudamiento de los hogares en México: un análisis con redes neuronales. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, vol. 50, núm. 199. 115- 140. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2019.199.67463>.
- Dionne, G., Gouriéroux, C., y Vanasse, C. (2001). Testing for evidence of adverse selection in the automobile insurance market: A comment. *Journal of Political Economy*, 109(2), 444-453. doi:<https://doi.org/10.1086/319557>
- Dong, C., Yang, Y., y Zhao, M. (2018). Dynamic selling strategy for a firm under asymmetric information: Direct selling vs. agent selling. *International Journal of Production Economics*, 204, 204-213. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.034>
- Frean, M., y Abraham, E. (2001). rock-scissors-paper and the survival of the weakest. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 268(1474), 1323-1327. doi:<https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1670>
- Gensbittel, F., y Grün, C. (2019). Zero-sum stopping games with asymmetric information. *Mathematics of Operations Research*, 44(1), 277-302. doi:<https://doi.org/10.1287/moor.2017.0924>
- Gómez, M. A. (2014). La banca en México: origen, evolución y perspectivas: economía política de las finanzas. Ciudad de México: Programa Universitario de Estudios del Desarrollo.
- Hao, L. y Jing G. (2019). Research on Private Financial Supervision from the Perspective of Game Theory. *Research on Private Financial Supervision from the Perspective of Game Theory*, 96-106. <https://doi.org/10.1145/3377672.3378042>.
- Harrington, J. (2005). *Detecting Cartels*. (526). Baltimore, Maryland, EE.UU: The Johns Hopkins University. Retrieved from <https://www.econstor.eu/handle/10419/72037>
- Hernández Trillo, F., y López Escarpulli, O. (2001). La banca en México, 1994-2000. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11651/4171>

- Hofbauer, J., y Sigmund, K. (1998). *Evolutionary games and population dynamics*. Cambridge university press. doi:<https://doi.org/10.1017/cbo9781139173179>
- Hopkins, E., y Seymour, R. M. (2002). The stability of price dispersion under seller and consumer learning. *International Economic Review*, 43(4), 1157-1190. doi:<https://doi.org/10.1111/1468-2354.t01-1-00052>
- Hosseini-Motlagh, Seyyed-Mahdi, Johari, M. y Zirakpourdehkordi R. (2020). Grain production management to reduce global warming potential under financial constraints and time value of money using evolutionary game theory. *International Journal of Production Research* 1-22. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1773562>.
- Huang, L., y Quanyan Z. (2019). A dynamic games approach to proactive defense strategies against Advanced Persistent Threats in cyber-physical systems. *Computers & Security*, Vol. 89, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101660>.
- Jensen, M. C., y Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of financial economics*, 3(4), 305-360. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-9257-3_8
- Kamien, M., y Zang, I. (1990). The Limits of Monopolization Through Acquisition. *The Quarterly Journal of Economics*, 105(2), 465-499. doi:<https://doi.org/10.2307/2937796>
- Kang, Y., Pan, Q., Wang, X., y He, M. (2013). A golden point rule in rock–paper–scissors–lizard–spock game. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(11), 2652-2659. doi:<https://doi.org/10.1016/j.physa.2012.10.011>
- Kerr, B., A. Riley, M., W. Feldman, M., y J. M. Bohannan, B. (2002). Local dispersal promotes biodiversity in a real-life game of rock–paper–scissors. *Nature*, 171-174. doi:<https://doi.org/10.1038/nature00823>
- Kirkup, B., y Riley, M. (2004). Antibiotic-mediated antagonism leads to a bacterial game of rock–paper–scissors in vivo. *Nature*, 428(6981), 412. doi:<https://doi.org/10.1038/nature02429>
- Kodama, K., Makino, R., Massaki, H., y Abe, K. (2016, September). Effects of Auditory Information on Inter-Limb Coordination and Synchronization between People in Janken Action. In *Proc. Eighth International Conference on Collaboration Technologies CollabTech 2016*, 24-27. http://inolab.slis.tsukuba.ac.jp/global/2016/CollabTech2016_Poster0908.pdf#page=27
- Mas-Collel, A., Whinston, D., y Green, J. (1995). *Microeconomic theory*. New York: Oxford University Press. Retrieved from http://www.hawkinqian.com/uploads/media/2014/09/Microeconomic_Theory.pdf

- Maskin, E., y Tirole, J. (1988). A Theory of Dynamic Oligopoly, II: Price Competition, Kinked Demand Curves, and Edgeworth Cycles. *Econometrica*, 56(3), 571-599. doi:<https://doi.org/10.2307/1911701>
- Mirman, L. J. (1989). Perfect information. In J. Eatwell, M. Milgate, y P. Newman, *Game Theory* (pp. 194-198). London: Palgrave Macmillan. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-349-20181-5_22
- Mobilia, M. (2010, 01 26). Oscillatory Dynamics in Rock-Paper-Scissor Games With Mutations. *Journal of Theoretical Biology*, 264(1), 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2010.01.008>
- Murillo, J. A. (2002). La Banca en México: Privatización, Crisis y Reordenamiento.
- Niinimäki, J.-P. (2018). Collateral in credit rationing in markets with asymmetric information. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 68, 97-102. doi:<https://doi.org/10.1016/j.qref.2017.10.001>
- Nowak, M. (2006). *Evolutionary Dynamics: exploring the equation of life*. Harvard University Press.
- Prasanna, Gai, y Kapadia Sujit. 2019. «Networks and systemic risk in the financial system.» *Oxford Review of Economic Policy*, Volume 35, Issue 4. 586-613. <https://doi.org/10.1093/oxrep/grz023>.
- Puelz, R., y Snow, A. (1994). Evidence on adverse selection: Equilibrium signaling and cross-subsidization in the insurance market. *Journal of Political Economy*, 102(2), 236-257. doi:<https://doi.org/10.1086/261930>
- Sabino, C. (1991). *Diccionario de economía y finanzas*. Caracas: Panapo.
- Scherer, F. (2002). The Effects of Competition: Cartel Policy and the Evolution of Strategy and Structure in British Industry. *Journal of Economics*, 77(2), 289-292. doi:<https://doi.org/10.1002/mde.1072>
- Schmalensee, R. (1978). Entry Deterrence in the Ready-to-Eat Breakfast Cereal Industry. *The Bell Journal of Economics*, 9(2), 305-327. doi:<https://doi.org/10.2307/3003584>
- Sinervo, B., y Curt, L. (1996). The rock-paper-scissors game and the evolution of alternative male strategies. *Nature*, 380(6571), 240. doi:<https://doi.org/10.1038/380240a0>
- Stiglitz, J. E., y Weiss, A. (1981). Credit rationing in markets with imperfect information. *The American economic review*, 393-410. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/1802787>
- The United State Departmen of Justice. (2010). Horizontal Merger Guidelines. 18-19. Retrieved 06 11, 2020, from <https://www.justice.gov/atr/file/810276/download>
- Toupo, D., y Strogatz, S. (2015). Nonlinear dynamics of the rock-paper-scissors game with mutations. *Physical Review*, 91(5), 052907. doi:<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.91.052907>

- Vasal, D., Sinha, A., y Anastasopoulos, A. (2019). A systematic process for evaluating structured perfect Bayesian equilibria in dynamic games with asymmetric information. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 64(1), 78-93. doi:<https://doi.org/10.1109/TAC.2018.2809863>
- Venegas Martínez, F. (2008). *Riesgos financieros y económicos/Financial and Economical Risks: Productos Derivados Y Decisiones Economicas Bajo Incertidumbre*. México D.F.: Cengage Learning.
- Wilkinson, F., y Burchell, B. (1996). Trust, business relationships and the contractual environment. Retrieved from http://www.cbr.cam.ac.uk/fileadmin/user_upload/centre-for-business-research/downloads/working-papers/wp035.pdf
- Zevallos Vallejos, E. G. (2003). Micro, pequeñas y medianas empresas en América Latina. *Revista de la CEPAL*, 79, 53-70. Retrieved from <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/10874>
- Zhou, H.-J. (2016). The rock–paper–scissors game. *Contemporary Physics*, 57(2), 151-163. doi:<https://doi.org/10.1080/00107514.2015.1026556>