DOI: http://dx.doi.org/10.22185/24487147.2025.120.14

# Velocidad de convergencia de las tasas netas migratorias en municipios de México con la metodología de Cadenas de Markov

## Convergence speed of net migration rates in Mexican municipalities: estimation using Markov Chains methodology

Román Sánchez-Dávila*
Bernardino Jaciel Montoya-Arce**
Eduardo Jiménez-López**
Hugo Montes de Oca-Vargas**

** Tecnológico Nacional de México – Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, México*
***Universidad Autónoma del Estado de México, México*

*Resumen*

Las Cadenas de Markov (CM) son una metodología para la proyección numérica. Diversos autores han usado las CM como forma para la estimación de convergencias por su facilidad de adaptación a los *shocks* en las series de datos. En este artículo se propone el uso de CM para estimar la velocidad de convergencia en las tasas netas migratorias de los estados de México, encontrando que Baja California, Baja California Sur y Quintana Roo tienen un proceso acelerado de convergencia hacia la atracción de población, por el contrario, la Ciudad de México y otras cuatro entidades federativas destacan convergencia hacia la expulsión de habitantes, esto atribuido a factores como el mercado inmobiliario o la inseguridad. Además, estados como Querétaro o Michoacán tardarían hasta 300 años en llegar al estado estacionario en sus tasas netas migratorias.

*Palabras clave*: Cadenas de Markov, velocidad de convergencia, migración interna, México.

*Abstract*

Markov Chains (CM) are a methodology for numerical projection. Various authors have used CMs to estimate convergences due to their ease of adaptation to shocks in the data series. This article proposes the use of CM to estimate the speed of convergence in the net migration rates of the states of Mexico, finding that the states of Baja California, Baja California Sur and Quintana Roo have an accelerated process of convergence towards the attraction of population, on the contrary, Mexico City and four other federal entities characterized by highlighting convergence towards the expulsion of inhabitants, this attributed to factors such as the real estate market or insecurity. Furthermore, states like Querétaro or Michoacán would take up to 300 years to reach the stationary state in their net migration rates.

*Key words*: Markov Chains, convergence speed, internal migration, Mexico.

## Introducción

La convergencia se puede definir como la aproximación de un número que se acerca cada vez más al valor buscado o estable. Las Cadenas de Markov (CM) representan un método numérico de proyección que requiere de un menor número de iteraciones (i.e. repeticiones de método) para acercarse al valor numérico estable y se dice que tiene una mayor rapidez de convergencia. Se entiende por estabilidad de un método numérico al nivel de garantía de convergencia, y es que algunos métodos numéricos no siempre convergen, por el contrario, divergen, es decir, se alejan cada vez más del resultado deseado (Urdaneta y Borgucci, 2021).

Diferentes autores han incorporado metodologías derivadas de las Cadenas de Markov en estudios de convergencia. Magrini (1995) y Fingleton (1997) las utilizan por su facilidad para adaptarse a los diferentes *shocks* (v.g. las CM tienen una tendencia permanente) que puedan existir en series temporales de datos. Bickenbach y Bode (2001) utilizan CM para analizar la convergencia de la distribución del ingreso en 48 de los 50 estados de Estados Unidos para el periodo 1929-2000, concluyendo que no existe convergencia entre ellos debido a los efectos de la Segunda Guerra Mundial y a las diferencias profundas entre sí. En un estudio más reciente, Le Gallo (2004) utiliza CM para analizar la convergencia económica entre 138 regiones europeas desde 1980 hasta 1995, utilizando como variable clave la renta per cápita. Concluye que no se registra convergencia a largo plazo, sino que las diferencias regionales permanecen. Le Gallo (2004) habla del *segundo máximo valor propio* de la matriz de probabilidades $P$, $\lambda_2$[1] como una medida de movilidad que permite caracterizar la *velocidad* con la que se llega a un estado *estacionario*.[2] En un sistema físico se llega a un estado estacionario cuando las características de la situación no varían en el tiempo, mientras que en economía, estado estacionario significa un estado sostenible óptimo de tendencia (Shorrocks, 1978).

Migración es el cambio de residencia que implica el traspaso de algún límite geográfico administrativo debidamente definido (CEPAL, 2021). Este efecto es clasificado por (Micolta, 2005) según: i. el contexto del tiempo (i.e. estacional, temporal reiterada, indefinida o definitiva), ii. el grado

[1] Valores derivados de la técnica sugerida, mismos a los que se hace referencia y provee de mayor explicación más adelante.
[2] El punto donde convergen los valores. Representa que de ese momento en adelante los valores esperados serán estacionarios, es decir, de baja o nula variación.

ISSN electrónico 2448-7147 

de libertad (i.e. voluntaria o forzosa), iii. El lugar de destino (i.e. interna o internacional)[3] y según el grado de legalidad puede ser legal o ilegal.

Los propósitos de migrar suelen radicar en causas económicas (v.g. aprovechar los diferenciales salariales tras frontera, ante el desequilibro de dos mercados laborales duales, derivado de pactos de contratación de mano de obra, incrementar o aprovechar su nivel de capital humano, etc.). Las causas sociales (v.g. generadas por condiciones de inseguridad o violencia en el territorio, problemas de salud, reagrupación familiar, conflictos políticos, cultura, matrimonio, desastres naturales, etcétera) son, en conjunto con las redes migratorias, otros factores causantes de la migración (CNDH y UNAM, 2018).

Las CM, en el análisis de migración, se han implementado como un instrumento-modelo de probabilidad capaz de describir la posición en el espacio de un individuo en un determinado momento (T) a partir de su posición previa (T-1). (McFarland, 1970). No se considera el comportamiento histórico del evento (v.g. *path dependence*), por tanto, el pasado no importa en la decisión futura del individuo: el proceso es *olvidadizo*, no tiene memoria. La idea de Markov ha sido considerada revolucionaria, ya que hace posible la combinación ordenada de conceptos, en un mismo modelo, como sistema, flujos y dinámica. Especialmente, por la facilidad con la que suele ser estimado el punto óptimo de equilibrio en un sistema de movilidad humana, es decir: en los movimientos o desplazamientos que efectúan los individuos, las familias o los grupos dentro de un determinado sistema socioeconómico que tienen una tendencia a estacionarse en un valor (años, volumen de migrantes) (Garrocho, 2011; Hierro, 2002, Garrocho y Jiménez, 2018).

En el significado social este proceso se refiere a la participación de una población, en lugar de un individuo, como exigía Markov en su modelo original; también introdujo, de forma implícita, el supuesto de *homogeneidad* de la población. En migración, la población homogénea es un conjunto de individuos que se mueve de manera similar en el espacio y en el tiempo (v.g. seleccionan los mismos destinos, migran con la misma frecuencia). Sin embargo, parece improbable que todos los individuos tengan la misma predisposición a moverse, y menos aún que cada uno de los posibles destinos les reporte a todos las mismas oportunidades (v.g. en términos *objetivos*) o les resulten igualmente atractivos (v.g. en términos *subjetivos*) (McFarland, 1970; Garrocho, Jiménez y Álvarez, 2014).

[3] Cuando el límite se traspasa entre el mismo país es llamado migración interna y cuando se cuza una frontera entre países es migración internacional.

Pullman y Styan (1973) realizan una propuesta de desagregar la población en subpoblaciones más o menos homogéneas. Sin embargo, su estrategia metodológica enfrenta dos obstáculos centrales. El primero es que la heterogeneidad está lejos de ser un conjunto de piezas que encajen perfectamente. El segundo, es que no se suele contar con datos lo suficientemente desagregados para representar un número basto de subpoblaciones relativamente homogéneas. La complejidad que encierra este tema ha llevado en ocasiones a considerar una población homogénea *bajo ciertas hipótesis*. El modo de hacerlo es reemplazar las probabilidades de transición individuales por probabilidades de transición promedio.[4] El problema radica en las fatales consecuencias que esto detona cuando la *heterogeneidad* entre la población es importante. El efecto más conocido es que las probabilidades de transición dejan de ser constantes (Pullman y Styan,1973; Jackson, Rogerson, Plane y Huallachain, 1990).

El supuesto de *homogeneidad temporal* es aún más difícil de sostener, especialmente a largo plazo. Resulta difícil creer que las reglas del juego migratorio vayan a ser siempre las mismas. Por ejemplo, que un migrante potencial tome sus decisiones migratorias en un *sistema cerrado* inmune a posibles perturbaciones externas, o que el migrante potencial ignore por completo en su decisión de moverse los cambios que puedan producirse en las condiciones y oportunidades que le ofrece cada destino (Hierro, 2002; Garrocho, Jiménez y Álvarez, 2014).

Una herramienta con mayor grado de explicabilidad que se deriva de las CM son las Matrices Causativas Constantes (MCC). A pesar de su escasa difusión, esta técnica hace una propuesta innovadora. Su idea principal es que la eventualidad de migrar de un individuo, medido mediante las correspondientes probabilidades de transición, no es constante, sino que varía en el tiempo. Se trata de trabajar con lo constante en la cadena, que son las variaciones experimentadas por las probabilidades de transición (v.g. variaciones de la conducta migratoria de la población). De este modo, el carácter *estacionario* de la cadena se traslada de las probabilidades de transición hacia sus tasas de variación.

## Objetivos

Tomando como antecedentes las ideas de Le Gallo (2004) y de Guijarro e Hierro (2005), el objetivo de este trabajo es obtener una proyección de

[4] Las probabilidades de transición individuales son variaciones del comportamiento migratorio de un solo individuo: se trataría de un microsistema. Por su parte, las probabilidades de transición promedio reflejan el comportamiento migratorio de un conjunto de individuos (v.g. el promedio del conjunto) que encajan perfectamente en una cierta agrupación.

la evolución las tasas netas migratorias en los municipios de México, a partir de los datos correspondientes a estas tasas en los años 2000 y 2010, proponiendo el uso de Cadenas de Markov como metodología innovadora para estos cálculos. La utilización de esta técnica nos permite encontrar la convergencia de las tasas netas migratorias a un valor numérico en tiempo discreto.[5] Debido a que proyectar el comportamiento de la dinámica social de la población en el territorio y en el tiempo es a *priori* para la toma de decisiones, quehacer de las instituciones públicas, privadas y de los agentes económicos.

Las CM son una herramienta poco difundida en la elaboración de análisis migratorios, pero muy eficaz para determinar una imagen correcta de la distribución espaciotemporal de la población. Sirven para anticipar patrones de distribución (e.g. evolución de la migración) y para estimar el valor en que se estaciona la dinámica social de la población (e.g. convergencia/divergencia). Una alternativa que ofrecen las CM es la posibilidad de obtener mucha más información aunada a la que se tiene en una primera etapa de la ejecución de estas, al utilizar *la matriz de variaciones experimentadas* en la secuencia de las CM, es posible obtener la velocidad con la que la población se estaciona en un valor, cálculo igualmente de gran fortaleza para las instituciones y agentes económicos en sus procesos de planeación, programación y toma de decisiones.

En este trabajo, la *convergencia* de las tasas netas migratorias se alcanza cuando el efecto neto de la inmigración y la emigración, ocurrido en un determinado lapso de tiempo, se estabiliza en un cierto valor. Por su parte, *la velocidad de convergencia* de las tasas netas migratorias es la medida de la rapidez con que el efecto neto emigración-inmigración llega a un valor estable. En este contexto, las dos principales ventajas de una CM y su derivación MCC son que permite realizar proyecciones y obtener la distribución equilibrio (e.g. cuando la migración se estabiliza) (Guijarro e Hierro, 2005).

Son varias las razones que justifican la elección del método de MCC: i. Permite estudiar el nivel de estabilidad del sistema (v.g. *convergencia / divergencia*); ii. Muestra la dinámica de la CM en el periodo de observación (v.g. *velocidad de convergencia*); iii. Incorpora a la estimación de las probabilidades de transición las interdependencias espaciales que ocurren en el sistema; y, iv. Relaja el supuesto de homogeneidad temporal de las cadenas (Pullman y Styan,1973).

[5] Señales de tiempo-discreto son funciones definidas en números enteros.

## Método. Cadenas de Markov: consideraciones básicas para su aplicación al estudio de la convergencia migratoria

Un proceso estocástico se define como una colección ordenada de una serie de datos o informaciones de acuerdo con un criterio común a todos ellos, para facilitar su consulta y el análisis de los datos (o variables aleatorias) se representan como (xt), en donde el subíndice *t* adopta valores de un conjunto *T*. Con frecuencia, *T* se toma como el conjunto de enteros no negativos y *xt* representa una característica de interés medible en el tiempo *t*. En este trabajo, el proceso estocástico $x_1$ $x_2$ $x_3$,…, $x_n$ representa una categoría dentro de la cual se puede clasificar cada municipio según su tasa neta migratoria en un año determinado; se tratan categorías migratorias determinadas por CONAPO (2015) referentes a su tasa neta migratoria (e.g. expulsión alta y media; equilibrio; atracción media y alta ).

Un proceso estocástico (x) se ajusta a un proceso markoviano si la probabilidad condicional de cualquier evento futuro (t + 1) es independiente del evento pasado, y solo depende del estado actual del proceso (t). Esta es la llamada propiedad markoviana (v.g. *proceso sin memoria*, ecuación 1).

$$P\{x_{t+1} = j|\ x_0 = k_0,\ x_1 = k_1,\ldots,\ x_{t-1} = k_{t-1},\ x_t = i\} = P\{x_{t+1} = j|\ x_t = i\} \qquad (1)$$

Así, para todo *t* entero y positivo, las probabilidades $P\{x_{t+1} = j|x_t = i\}$ se denominan *probabilidades de transición*.

Entonces, la propiedad markoviana implica que para determinar la probabilidad de que un municipio pase de la categoría *i* a la categoría *j* es independiente de las categorías por los cuales ha pasado. Es decir, no tiene relevancia si en el *pasado* un municipio ha expulsado a muchos migrantes o si ha sido atractor, sólo importa la categoría actual (o *presente*) del municipio.

En los *procesos convergentes*, las probabilidades de transición de una categoría a otra (e.g. las probabilidades de que un municipio cambie de categoría) no se alteran con el tiempo, sino que mantienen la misma tendencia (Bickenbach y Bode, 2001).

De forma matricial las probabilidades de transición se definen en la ecuación 2:

$$P^n = \begin{array}{c|cccc} \text{CM} & 0 & 1 & \cdots & M \\ \hline 0 & P^n_{00} & P^n_{01} & \cdots & P^n_{0M} \\ 1 & P^n_{10} & P^n_{11} & \cdots & P^n_{1M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ M & P^n_{M0} & P^n_{M1} & \cdots & P^n_{MM} \end{array} \quad \text{Para } n = 0, 1, 2, \ldots, M \qquad (2)$$

Donde las filas se definen como la categoría de municipio, en el año *t* (v.g. año inicial del periodo de análisis) y la columna es la categoría de municipio en el periodo t + 1 (v.g. año final del periodo de análisis).

Dado que el sistema migratorio entendido como un sistema de Markov o proceso de Markov o cadena de Markov, considera que los municipios (v.g. los *elementos* del sistema) pueden pasar de una categoría a otra durante cierto periodo, y de acuerdo con determinadas probabilidades, los municipios en el tiempo *t*, deberán encontrarse en alguna de las categorías M en t + 1, por lo que para todo i deberá cumplirse (ecuación 3):

$$\sum_{t=0}^{M} P^n_{ij} = 1 \qquad (3)$$

Donde:

M = Categorías de municipio.
P = Probabilidad de transición.
n = A cada unidad temporal transcurrida a partir de t (e.g. años, quinquenios, decenios).
t = Es el año inicial del periodo analizado.

En otras palabras, la suma de los renglones de la matriz de la ecuación (3) debe de ser igual a la unidad para todos los valores en t + n. Además, como se trata de una probabilidad condicional debe ser *no negativa*

$$P^n_{ij} \geq 0$$

(Probabilidad condicional es la probabilidad de que ocurra un evento A, sabiendo que también sucede otro evento B. La probabilidad condicional se escribe P, y se lee "la probabilidad de A dado B". No tiene por qué haber una relación causal o temporal entre A y B).

Por su parte, la matriz de transición de *n* pasos (donde *n* = años, quinquenios o decenios) puede obtenerse calculando la *n-ésima* potencia de la matriz de transición como se expresa en la ecuación 4.

$$P^n = P \times P \cdots P \qquad (4)$$

Donde *P* es la matriz de probabilidades de transición y *n* es cada unidad temporal transcurrida a partir de *t* (v.g. años, quinquenios, decenios) (Seneta, 2006).

## Convergencia de las cadenas de Markov

Un aspecto interesante en las CM es que después de varias interacciones, v.g. la multiplicación de la matriz *P* por ella misma, significa una interacción, si son varias las multiplicaciones de la matriz por ella misma y son varias las interacciones como se muestra en la ecuación (4), para las matrices de transición, las probabilidades de entrar a alguna situación de convergencia a valores particulares, es una característica del método de CM (Seneta, 2006). En este apartado se muestran las condiciones suficientes para la existencia de la distribución límite (v.g. convergencia) de una CM.

Sea $\{x_t: t = 0, 1, \ldots\}$ una CM con probabilidades de transición $P_{ij}$ que cumple ser: irreducible, aperiódica y recurrente.[6]

Se dice que una CM es irreducible si tiene una única clase de estados, es decir los estados que la componen se comunican, son accesibles y alcanzables desde cualquier otro estado de la cadena en un número finito de pasos (i.e. Se puede llegar a un estado $E_j$ desde un estado $E_i$, esto es $P_{ij}^n \geq 0$ para cualquier número entero *n*). Es aperiódica cuando partiendo de un estado $E_i$ solo es posible regresar a él mismo sin importar el número de etapas. Es recurrente cuando el valor esperado del número de etapas que le toma al proceso volver a un estado Ei por primera vez, partiendo desde un estado $E_j$ es un número finito. Entonces como primer resultado, existe una única distribución estacionaria $\pi$ dada por:

$$\pi_j = 1/\mu_j \qquad (5)$$

Donde $\mu_j$ es el tiempo medio de recurrencia del estado *j*.

Como segundo resultado se tiene que las probabilidades de transición convergen hacia esta distribución estacionaria:

$$\lim_{n\to\infty} P_{ij}(n) = 1/\mu_j \qquad (6)$$

[6] Una CM es ergódica si es irreducible, aperiódica y finita, representa que existe una única distribución estacionaria que se obtiene al resolver el sistema de ecuaciones correspondiente. En caso de que la CM no sea finita, se requiere que todos sus estados sean recurrentes positivos.

Demostrando los resultados de las ecuaciones (5) y (6) se tiene que la cadena es irreducible y recurrente, con una única distribución estacionaria $\pi$ dada por $\pi_j = 1/\mu_j$, es decir, $\pi = (\pi_j)_{j\epsilon S}$ es la única solución al sistema $\pi = \pi \cdot P$ sujeto a las condiciones de la ecuación (4).

En el mismo sentido, como la cadena es irreducible, aperiódica y tiene una distribución estacionaria $\pi = (\pi_j)_{j\epsilon S}$, las probabilidades de transición convergen hacia esta distribución estacionaria, como se observa en la ecuación (6). En resumen, se han usado las hipótesis de irreductibilidad y recurrencia para garantizar la existencia de una única distribución estacionaria. Si la CM es ergódica, existe una distribución limite (ecuación 6) que coincide con la distribución estacionaria (ecuación 5).

## Matrices Causativas Constantes

Sea la matriz de transición un sistema integrado por un número finito de categorías S, cada una de las cuales es simultáneamente origen y destino migratorio: S = {1,2,3, …, n}. La situación de este sistema en cada instante de tiempo define un proceso estocástico $\{x_t;\ t = 0,1, \ldots\}$, donde $x_t = i$ significa que el sistema se encuentra en una categoría $i$ en el instante $t$.

La probabilidad $P_{ij}$ de que una persona se mueva a una categoría $j$ en el instante $t + 1$, donde se ha establecido en una categoría $i$ en el momento $t$, se puede estimar como se indica en la ecuación (2).

Existe una matriz constante $c$, a partir de la cual es posible comparar la matriz de transición en el instante $t + 1$, $P_{t+1}$ con la correspondiente al instante $t$, $P_t$, con el propósito de cuantificar la variación experimentada por las probabilidades de transición en el transcurso del intervalo de tiempo (t, t + 1). Con esto, $c$ es una matriz causativa constante caracterizada por ser de idéntica dimensión que $P_t$ y $P_{t+1}$ y donde todos sus elementos son constantes (Plane and Rogerson, 1994).

$$P_{t+1} = P_t \cdot c^D_{t,t+1} \tag{7}$$

$$P_{t+1} = c^I_{t,t+1} \cdot P_t \tag{8}$$

Para todo $i, j\epsilon S$, en todo $t$. La ecuación (7) se denomina matriz causativa constante por la derecha (MCC por la derecha) y la ecuación (8) matriz causativa constante por la izquierda (MCC por la izquierda).

Los calificativos *por la derecha* y *por la izquierda* son con respecto a la matriz de transición sobre la que operan (v.g. como se despeje la matriz *c*), pues permite que la interpretación de las dos MCC no sean necesariamente equivalentes. Aunque ambas MCC conducen a la misma conclusión sobre el grado de estabilidad del sistema, al ser idénticos sus valores propios, esto es con respecto a la dinámica de la variable a través del tiempo.[7]

Respecto a la dinámica espacial del sistema (que no es propósito de este trabajo), los elementos de $c^D$, no unitarios en la diagonal principal y no nulos fuera de ella, proporcionan medidas dinámicas de la influencia que ejercen los distintos destinos para atraer y/o repulsar población de un determinado origen. Para los elementos de $c^I$, distintos de uno en la diagonal principal y distintos de cero en las diagonales restantes, proporcionan medidas dinámicas de los distintos orígenes para emitir población migrante en dirección a un determinado destino (Fotheringham, 1983).

Despejando la matriz *c* de las ecuaciones (8) y (9), según convenga, quedarán de la siguiente forma (ecuaciones 10 y 11):

$$c^D_{t,t+1} = (P_t)^{-1} \cdot P_{t+1} \tag{10}$$

$$c^I_{t,t+1} = P_{t+1} \cdot (P_t)^{-1} \tag{11}$$

Para estimar *c* es necesario que la matriz $P_t$ tenga una matriz inversa asociada, lo que equivale a decir que $P_t$ ha de ser necesariamente una matriz no singular (Mora, 2005).[8]

La matriz *c* no es necesariamente estocástica. Esto significa que, aunque *c* es una matriz cuyas filas usualmente suman la unidad, no puede definirse como estocástica estrictamente, ya que sus elementos pueden ser negativos o bien rebasar la cota superior de la unidad. Pensemos que cada uno de sus elementos, $c_{ij}$, no es una probabilidad, sino una tasa, que como tal puede tomar cualquier valor real, negativo o positivo (Kesavan, 1982; Hierro, 2002).

Para este trabajo es necesario trasladar el estudio de convergencia hacia los cambios en las probabilidades de translación y el interés en los valores propios de las matrices causativas, en lugar de los valores propios en la matriz de probabilidades de translación (v.g. los valores propios calculados son los de la matriz causativa, que son los que nos proporcionan más in-

[7] En álgebra lineal, los vectores propios, valores propios o *eigenvectores* de un operador lineal son los vectores o valores no nulos que, cuando son transformados por el operador, dan lugar a un múltiplo escalar de sí mismos, con lo que no cambian su dirección.
[8] Matriz no singular. Matriz cuadrada cuyo determinante es diferente de cero. Una matriz no singular tiene matriz inversa.

formación sobre la dinámica del sistema). De esta forma se puede evaluar si los cambios lineales que experimentan las probabilidades de transición de la cadena tienden o no a converger, esto es, si el sistema tiene una tendencia.[9]

La *velocidad* a la que tiene lugar la convergencia de la cadena depende directamente del segundo máximo valor propio de la matriz de variaciones experimentadas en la secuencia de la cadena (i.e. matriz causativa constante), que se supone va a permanecer constante en instantes de tiempo sucesivos, pues en caso de no serlo (i.e. ausencia de homogeneidad temporal) la existencia de equilibrio no está garantizada (Rogerson, 1979; Guijarro e Hierro, 2005).

La medida de la velocidad de convergencia está dada por la expresión siguiente:

$$dm = -\frac{\log 2}{\log \lambda_2} \tag{12}$$

Plane y Rogerson (1994) definen un sistema estable cuando todos los valores propios de $c^D$ o $c^I$ son valores absolutos menores o iguales a la unidad, $|\lambda_i| \leq 1 \ \forall \ i \epsilon S$. El segundo valor propio proporciona una medida de la velocidad de convergencia, cuanto más próximo esté de uno, mayor será la velocidad de convergencia. Si $\lambda_2 = 1$; se habla de perfecta estabilidad. Ahora, si en el conjunto de valores propios al menos uno de ellos supera la unidad, se dice que el sistema es inestable. Mientras más alejado de uno esté el valor propio, mayor es el grado de desequilibrio o inestabilidad del sistema (Shorrocks, 1978; Magrini, 2004).

**Caso 1: Convergencia**

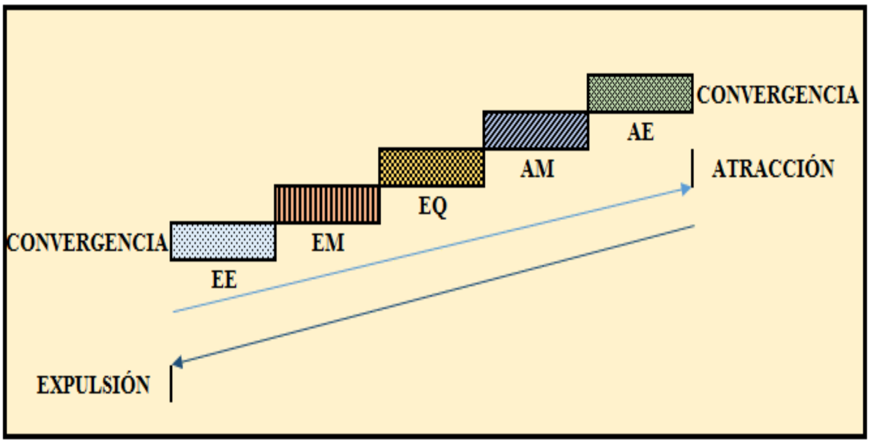
Si los valores propios de *c* son valores absolutos menores o iguales a la unidad, entonces la Cadena de Markov no-estacionaria converge hacia una distribución estacionaria, que atribuirá en el largo plazo proporciones de iguales condiciones para los migrantes a cada una de las categorías de municipios. Ahora, si todos los valores propios toman valores iguales a la unidad, estaremos ante una situación de perfecta estabilidad en cada una de las categorías de municipio (Magrini, 2004).

En la Figura 1 se muestran los dos casos en los cuales se puede llegar a la convergencia de las categorías de municipios. Se puede decir que todas las categorías expulsan migrantes (v.g. flecha con pendiente positiva) me-

[9] Un sistema que presenta tendencia en algún punto se va a estabilizar.

nos una, la de AE que los recibe, hay una convergencia deseable, porque cuatro de cinco clasificaciones se estabilizan en un valor. Se menciona que es deseable la convergencia porque en la categoría AE crecen los alicientes a la inmigración (e.g. más y mejores oportunidades de empleo, mejores salarios, etcétera) que implican la aglomeración de las personas (i.e. convergencia en el tiempo) (Figura 1).

Figura 1: Rutas hacia la Convergencia




Fuente: elaboración propia.

La flecha con pendiente negativa también indica convergencia (Figura 1), aunque no es deseable. Convergente porque cuatro de cinco categorías se estabilizan en un valor, pero una clasificación crece mucho con respecto a los demás (inestabilidad). La clasificación de EE es la ganadora, esto implica que muchos municipios sean netamente expulsores (v.g. los habitantes encuentran mejores oportunidades de trabajo en muchos otros municipios, mejor calidad de vida e incluso mejores condiciones de seguridad pública).

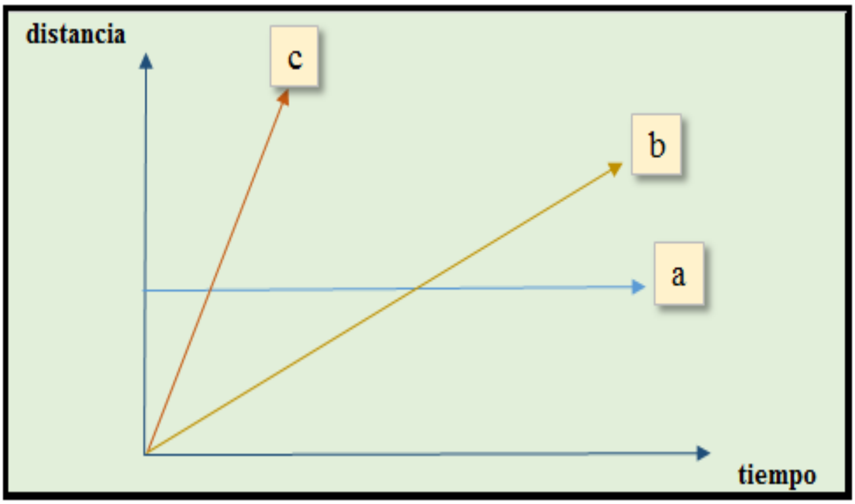
**Caso 2: divergencia o inestabilidad**

Si entre los valores propios obtenidos, al menos uno supera la unidad, entonces el sistema diverge, es decir, el comportamiento de la migración es cambiante y poco predictivo. Cuanto más alejado se encuentre el máximo valor propio de la unidad, mayor será el grado de desequilibrio del sistema (Magrini, 2004).

### Caso 3: velocidad

Con el cálculo del segundo máximo valor propio, $\lambda_2$ en la matriz de cambios de transición, se indica la velocidad a la que se producirá la convergencia del sistema: mientras más próximo esté el valor propio a la unidad, mayor será la *velocidad* de convergencia (Plane y Rogerson; 1986). Si todos los valores propios toman valores iguales a la unidad estaremos ante una situación de perfecta estabilidad, una cadena Markov cuya distribución es estacionaria (Figura 2).

Figura 2: Clasificación de diferentes Velocidades




Fuente: elaboración propia.

La Figura 2 muestra tres casos de velocidades. Caso *a*: presenta una velocidad que en el transcurso del tiempo es constante (v.g. pendiente cero), es una velocidad deseable porque al hacer una proyección siempre sabemos su valor. Caso b: la velocidad va en aumento, ya que la pendiente es aproximadamente de 45º, es deseable porque el tiempo que tarda en recorrer una distancia es proporcional, con esto, la velocidad es apreciable. Caso *c*: la velocidad va en aumento con una pendiente cercana o próxima a los 90º, comparada con *b* es mayor por la pendiente. La velocidad en el caso *c* es instantánea por la poca relación que existe entre el tiempo y la distancia (v.g. en poco tiempo que transcurre una gran cantidad de distancia).

## Zona de estudio, fuentes de información y *software* utilizado

Zona de estudio: este estudio incluye a todos los municipios de la República Mexicana, el indicador que se utiliza es la tasa neta migratoria, aclarando que la desagregación que se muestra queda a nivel de entidad federativa.

Fuentes de información: Base de datos de CONAPO (2015), que proporciona la clasificación de las categorías de municipios.

*Software* utilizado: *Matlab* por la facilidad de manipulación de matrices, la representación de datos y funciones.

## Análisis empírico: dinámica temporal de las tasas netas migratorias en municipios de México

Existen muchas alternativas del análisis de convergencia, Quah (1993, 1996). Por ejemplo, algunos dividen la distribución del ingreso en varias clases mutuamente excluyentes, lo que equivaldría en este trabajo a las categorías de municipios conforme a las tasas netas de migración (Base de Datos CONAPO, 2015). Sin embargo, no hay reglas: el número de grupos o categorías en cada análisis depende de los propósitos de cada investigación. En este artículo el número de categorías de municipios es el que utiliza CONAPO (2015) en su Base de Datos. Se analizan 2,456 municipios (el total nacional) para el periodo 2000-2010. De conformidad con sus características migratorias, los municipios se dividen en cinco categorías: *i*. Expulsión elevada (EE) *ii*. Expulsión media (EM) *iii*. Equilibrio (EQ) *iv*. Atracción media (AM) *v*. Atracción elevada (AE). La situación inicial (t = 2000) se muestra en la Tabla 1, se resalta que más de 65 por ciento del total de los municipios son expulsores, casi nueve por ciento están en equilibrio y el resto presentan atracción. El comportamiento migratorio de cada municipio en el periodo determinará su paso de una categoría a otra, o su permanencia en una misma categoría.

Tabla 1: Clasificación de los municipios por categoría migratoria.
Situación inicial: t = 2000

| Clasificación | Valores Absolutos | F |
|---|---|---|
| Expulsión Elevada (EE) | 862 | 35.1 |
| Expulsión Media (EM) | 736 | 30.0 |
| Equilibrio (EQ) | 216 | 8.8 |
| Atracción Media (AM) | 385 | 15.7 |
| Atracción Elevada (AE) | 257 | 10.5 |

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 2 muestra en *cada renglón* las transiciones (o pasos) de los municipios de una categoría migratoria a otra, o su permanencia en la misma categoría. Por ejemplo, los municipios de Expulsión Elevada que en 2000 eran 862 pasaron a 850 en 2010. De este total 307 (36.1 por ciento) permanecieron en la misma categoría, 192 (22.6 por ciento) cambiaron a la categoría de expulsión moderada, 63 (7.4 por ciento) pasaron a un estado de equilibrio, 151 (17.8 por ciento) a una categoría de atracción media, se puede decir que mejoraron su situación migratoria mejor y finalmente de una expulsión elevada a una atracción elevada pasaron 137 (16.1 por ciento).

Tabla 2: Matriz de transición en valores absolutos, 2000-2010

| | | t+1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EE | EM | EQ | AM | AE | TOTAL |
| t | EE | 307 | 192 | 63 | 151 | 137 | 850 |
| | EM | 129 | 173 | 86 | 248 | 118 | 754 |
| | EQ | 32 | 45 | 19 | 58 | 51 | 205 |
| | AM | 37 | 15 | 13 | 104 | 132 | 301 |
| | AE | 43 | 57 | 40 | 33 | 173 | 346 |
| | | | | | | | 2456 |

Fuente: elaboración propia.

La situación final o matriz de transición, se muestra en la Tabla 2. Donde 850 municipios se movieron a otra categoría o siguen en EE, de los cuales, 307 permanecen en EE, 543 se desplazaron hacia la derecha lo que representa una mejora en su situación migratoria.

Las casillas clave de la Tabla 2, los totales del renglón se muestran al final de la tabla (celdas en rojo). La diagonal de la tabla (celdas en gris) muestra el número de municipios que permanece en la misma situación migratoria. El resto de las casillas (amarillo y azul) son las transiciones de una categoría migratoria a otra. Dentro de las transiciones están los municipios ganadores, el triángulo superior (celdas azules), 1236 municipios mejoran su situación migratoria entre "t" y "t + 1". Los municipios *perdedores* son los que se encuentran en el triángulo inferior (celdas amarillas): 444 municipios que empeoraron su situación migratoria entre "t" y "t + 1". Los cambios bruscos (i.e. *saltos*) de expulsión elevada a atracción elevada, se consideran notablemente positivos: 137 municipios cambian su situación migratoria y saltos negativos bruscos son los que van de atracción elevada a expulsión elevada teniendo a 43 municipios que empeoran su situación.

Una condición para la realización de las cadenas de Markov es formar una matriz cuadrada en donde cada elemento $P_{ij}$ es igual al porcentaje de categoría de municipio (v.g. con la información de la Tabla 3, es posible estimar los porcentajes a partir del total del renglón, esto es el cambio de categoría entre "t" y "t + 1"). Así, por ejemplo, el elemento (1, 1) indica que 36.1 por ciento no cambió la categoría de municipio en la transición del periodo 2000-2010. Nótese que por la forma en que se construye esta matriz, sus filas contienen elementos no negativos cuya suma es igual a 100 por ciento en todos los casos.

Tabla 3: Matriz de transición en porcentajes, 2000-2010

| | | t+1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EE | EM | EQ | AM | AE | TOTAL |
| t | EE | 36.1 | 22.6 | 7.4 | 17.8 | 16.1 | 100.0 |
| | EM | 17.1 | 22.9 | 11.4 | 32.9 | 15.6 | 100.0 |
| | EQ | 15.6 | 22.0 | 9.3 | 28.3 | 24.9 | 100.0 |
| | AM | 12.3 | 5.0 | 4.3 | 34.6 | 43.9 | 100.0 |
| | AE | 12.4 | 16.5 | 11.6 | 9.5 | 50.0 | 100.0 |

Fuente: elaboración propia.

A partir de la matriz de transición mostrada en la Tabla 3, se obtiene la proyección de la cadena de Markov, (Tabla 4); establece la cadena de Markov de primer orden, que es la multiplicación de la matriz de la Tabla 3 por ella misma, esta operación se denomina de primer orden (i.e. matriz de proyección). Seguirá aumentando el orden de la cadena cuando se multiplica por ella misma, de la forma M x M x M.

Tabla 4: Cadena de Markov: Matriz de proyección de transición, 2010-2020

| | | t+1 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EE | EM | EQ | AM | AE |
| t | EE | 22.3 | 18.5 | 8.6 | 23.6 | 27.0 |
| | EM | 17.9 | 15.8 | 8.2 | 26.7 | 31.4 |
| | EQ | 17.4 | 16.1 | 8.6 | 24.8 | 33.1 |
| | AM | 15.7 | 13.8 | 8.4 | 21.2 | 40.9 |
| | AE | 16.5 | 17.8 | 10.1 | 19.0 | 36.6 |

Fuente: elaboración propia.

La proyección de la cadena de Markov se muestra en la Tabla 4, en ella se observa el porcentaje de las categorías migratorias que no cambian, 22.3 por ciento para expulsión elevada, 15.8 por ciento para expulsión media, 8.6 por ciento equilibrio, 21.2 por ciento para atracción media y 36.6 por ciento para atracción elevada. Las categorías en porcentaje que son ganadoras se observan en el triángulo superior (casillas azules) (v.g. las categorías de municipios pasaron de una expulsión elevada en el año "t + 1" a otra categoría como expulsión media, equilibrio, atracción media o elevada). Mientras se pueden clasificar como categorías perdedoras a las que se encuentran en el triángulo inferior (casillas amarillas) (v.g. categorías de municipios que pasan por ejemplo de una atracción elevada a una expulsión elevada).

La Tabla 5 contiene la alternativa planteada para las cadenas de Markov, que es la convergencia de los datos a un valor en las categorías de municipios, donde la transición de *t* a *t* + 1 se puede explicar de la siguiente forma: la expulsión elevada al pasar a la misma clasificación en el año tiene una convergencia de 17.6 por ciento y para todas las clasificaciones es el mismo valor de probabilidad. Para la expulsión media en el año siguiente tendrá una probabilidad de 16.6 por ciento, el equilibrio tendrá una probabilidad de nueve por ciento, la atracción media una probabilidad de 22.1 por ciento y, finalmente, la atracción elevada una probabilidad de 34.7 por ciento (v.g. la convergencia es la tendencia a un valor numérico de una categoría de municipio).

Tabla 5: Cadena de Markov: valores de convergencia, 2020

| | | t+1 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EE | EM | EQ | AM | AE |
| t | EE | 17.6 | 16.6 | 9.0 | 22.1 | 34.7 |
| | EM | 17.6 | 16.6 | 9.0 | 22.1 | 34.7 |
| | EQ | 17.6 | 16.6 | 9.0 | 22.1 | 34.7 |
| | AM | 17.6 | 16.6 | 9.0 | 22.1 | 34.7 |
| | AE | 17.6 | 16.6 | 9.0 | 22.1 | 34.7 |

Fuente: elaboración propia.

Todas las filas de la Tabla 5 son iguales para todas las categorías, la probabilidad de migrar a cualquier categoría de municipio en el año 2010 es independiente de la categoría de municipio en la que se encuentre inicialmente, en el año 2000. Se dice entonces que la distribución final es independiente de la distribución inicial del sistema y que, por lo tanto, la cadena ha alcanzado la distribución estacionaria o de equilibrio.

Con la ayuda de la matriz causativa constante mostrada en la Tabla 6 se calculan los valores propios, el máximo valor es igual a uno, que indica el comienzo de un proceso de convergencia durante el periodo 2010-2020. La Tabla 6 no tiene valor en términos de explicar la migración entre municipios, su cálculo esta solamente destinado a encontrar la velocidad de convergencia.

Tabla 6: Cadena de Markov: Matriz Causativa Constante a

| | | t+1 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EE | EM | EQ | AM | AE |
| t | EE | 0.36 | 0.23 | 0.07 | 0.16 | 0.18 |
| | EM | 0.17 | 0.23 | 0.11 | 0.16 | 0.33 |
| | EQ | 0.16 | 0.22 | 0.09 | 0.25 | 0.28 |
| | AM | 0.12 | 0.05 | 0.04 | 0.35 | 0.44 |
| | AE | 0.12 | 0.16 | 0.12 | 0.10 | 0.50 |

Calculada con la ecuación (10).
Fuente: elaboración propia.

La matriz de transición de la cadena de Markov mostrada en la Tabla 4, a partir de la cual se ha obtenido la matriz causativa constante utilizando la ecuación (10), donde el segundo máximo valor propio es $\lambda_2 = 0.44$. Ahora para encontrar la velocidad de convergencia utilizamos la ecuación (12), el valor es $dm = 0.8443$. Con esto podemos decir que está cerca de la unidad, por tanto, tiende a estabilizarse rápidamente (i.e. con cinco transiciones de la cadena de Markov).

Otra información que nos proporciona el valor propio $\lambda_2$ es que está lejos de la unidad, indica que el ritmo de convergencia es muy lento. Para que exista perfecta estabilidad, que es el caso de las Cadenas de Markov, es necesario que todos los valores propios sean 1.

## Análisis de influencia estatal

Imaginando el territorio mexicano dentro de un mapa, es pertinente preguntarse cómo estos datos pueden ayudar a la planificación nacional de programas y políticas que tengan como objetivo el desarrollo económico de regiones en particular.

Los datos municipales nos dan una visión *micro* y sumamente detallada de lo que se presenta en la realidad del territorio nacional. Dobbelare

(2002) propone un marco analítico para los fenómenos sociales que dota de las características a la presente argumentación; la perspectiva *micro*, *meso* y *macro*.

Tomando como punto de partida que lo macro se presenta en la realidad nacional, dentro de programas, estrategias y planificaciones en los gobiernos federales. Lo micro cae en el tercer orden de gobierno, el más cercano a la población, el municipio. Por ende, lo meso correspondería a la realidad estatal dotada de autonomía en sí misma, pero que, de acuerdo con la visión de sistemas, no deja de ser un conjunto de sus elementos, los municipios.

Los resultados migratorios por estado se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7: Volumen de expulsión y atracción elevada por entidad federativa

| Estado | Municipios AE | Porcentaje AE | Municipios EE | Porcentaje EE | Total Municipios |
|---|---|---|---|---|---|
| Aguascalientes | 3 | 29% | 0 | 0% | 11 |
| Baja California | 3 | 60% | 0 | 0% | 5 |
| Baja California Sur | 4 | 80% | 0 | 0% | 5 |
| Campeche | 0 | 0% | 1 | 6% | 11 |
| Cohauila | 3 | 7% | 4 | 11% | 38 |
| Colima | 1 | 10% | 1 | 5% | 10 |
| Chiapas | 1 | 1% | 15 | 13% | 118 |
| Chihuahua | 1 | 1% | 12 | 18% | 66 |
| CDMX | 1 | 3% | 6 | 37% | 16 |
| Durango | 0 | 0% | 15 | 38% | 39 |
| Guanajuato | 2 | 3% | 0 | 1% | 46 |
| Guerrero | 0 | 0% | 15 | 18% | 81 |
| Hidalgo | 4 | 5% | 3 | 4% | 84 |
| Jalisco | 4 | 3% | 8 | 6% | 125 |
| Estado de México | 22 | 18% | 5 | 4% | 125 |
| Michoacán | 4 | 4% | 12 | 10% | 113 |
| Morelos | 3 | 9% | 0 | 1% | 33 |
| Nayarit | 2 | 10% | 2,6 | 13% | 20 |
| Nuevo León | 7 | 14% | 5 | 9% | 51 |
| Oaxaca | 41 | 7% | 34 | 6% | 570 |
| Puebla | 10 | 4% | 12 | 6% | 217 |
| Querétaro | 2 | 9% | 1 | 7% | 18 |

continúa

Tabla 7: Continuación

| Estado | Municipios AE | Porcentaje AE | Municipios EE | Porcentaje EE | Total Municipios |
|---|---|---|---|---|---|
| Quintana Roo | 3 | 36% | 0 | 0% | 9 |
| San Luis Potosí | 1 | 2% | 5 | 8% | 58 |
| Sinaloa | 1 | 6% | 3 | 19% | 18 |
| Sonora | 4 | 6% | 9 | 12% | 72 |
| Tabasco | 1 | 6% | 3 | 15% | 17 |
| Tamaulipas | 1 | 2% | 5 | 11% | 43 |
| Tlaxcala | 7 | 12% | 2 | 4% | 60 |
| Veracruz | 15 | 7% | 15 | 7% | 212 |
| Yucatán | 3 | 3% | 9 | 9% | 106 |
| Zacatecas | 0 | 1% | 6 | 10% | 58 |

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 7, se toman en consideración los municipios que, en los datos (resultado por las CM en 2010), se encontraban en las casillas EE y AE.

Una vez que las entidades federativas fueron organizadas, la fórmula utilizada para calcular el porcentaje fue una regla de tres tomando como 100 por ciento el número total de municipios en el estado a analizar, de esta manera los resultados son proporcionales a cada uno con respecto al total. Destaca la presencia de ocho estados a los que vale la pena poner una viñeta para su observación. *i*. (resaltado en color verde) compuesto por los estados de Baja California, Baja California Sur y Quintana Roo son aquellos que tienen mayor AE. *ii*. (resaltado en color rojo) Durango, Ciudad de México, Guerrero y Chihuahua son los que tienen mayor EE. *iii*. (resaltado en amarillo) Veracruz como el único estado en equilibrio.

Es posible que la expansión en los corredores turísticos de Quintana Roo (i.e. Cancún, Playa del Carmen y Tulum) y Baja California Sur (i. e. San José del Cabo-Cabo San Lucas) cuyo desarrollo ha ido en incremento a partir del primer lustro del siglo XX, resulte en empleos con remuneraciones más atractivas y condiciones de vida igualmente atractivas, sobre todo para la población relativamente joven.

Para el caso de Baja California puede haber dos posibles razones, la primera radica en la oferta también de empleos en el corredor Tecate-Tijuana, cuya especialización industrial se concentra en la manufactura de productos metálicos, maquinaria y equipo, asociado a economías de redes y con la ventaja competitiva de su posición geográfica, lo que genera fácil conectividad con Estados Unidos y países asiáticos (Mungaray y Cabrera, 2003). La segunda razón es derivada de que ese estado fronterizo se ha convertido en la residencia temporal o cuasi permanente de los migrantes deportados y migrantes de tránsito que no han logrado entrar a Estados Unidos y han sido insertados laboralmente, principalmente en la ciudad de Tijuana (Acosta, Reyes y Solís, 2015). No se debe dejar de lado la idea de que tal vez la coordinación administrativa de estos estados es más simple dado que cuentan con un reducido número de municipios.

Muy probablemente para los casos de Guerrero, Chihuahua y Durango, la violencia y bajo nivel de seguridad pública derivado del asentamiento de carteles del crimen organizado en su territorio es un factor decisivo para que las personas busquen cambiar de residencia y mejorar su calidad de vida; en términos de nivel de marginación, según cifras de CONAPO (2013), estos estados ocupan los lugares 3, 17 y 27 de marginación respectivamente, por lo que "el buscar mejores oportunidades laborales y de ingreso" en teoría aplicaría solo para Guerrero y tal vez para Durango.

El caso de Ciudad de México como expulsor es muy peculiar, dado que en su mayoría se debe a la asimetría que presenta el mercado inmobiliario en la ciudad capital a partir de su encarecimiento abrupto, haciendo casi impagables los posibles créditos y arrendamientos de las personas,[10] esto es debido a la excesiva aglomeración en el territorio así como la oferta laboral con que se cuenta, por ello, los trabajadores de la Ciudad de México suelen decidir buscar residencia en las zonas periféricas del Estado de México, Hidalgo, Morelos o Puebla para disminuir este costo, tal evento es el principal generador del *commuting* en México (Ávila y Medina, 2019).

El caso para destacar como resultado de los cálculos es el de Veracruz, ya que logró una homogeneidad y equilibrio particular en su entidad, pues es el único estado en la república que arrojó los resultados de manera que la mitad de su territorio expulsa gente y la otra mitad atrae; dicho de esta manera, los factores migratorios en Veracruz pueden aportar una polarización interesante a los estudios de migración (propósito diferente al de este artículo), a manera de comprobación. Según datos del Censo de Población y Vivienda INEGI (2020), se encontró que, de cada cien emigrantes del Estado de México, cuatro se desplazan al estado de Veracruz y como flujo opuesto, seis de cada 100 inmigrantes del Estado de México son originarios de Veracruz, es decir, técnicamente se habla de un equilibrio técnico.

[10] Según diversas fuentes de información; Bocanegra (2020). Difícil adquirir vivienda en CDMX. *RealEstate Market & Lifestyle*, 15 de diciembre de 2020. Recuperado de http://realestatemarket.com.mx/noticias/mercado-inmobiliario/31371-dificil-adquirir-vivienda-en-cdmx

Los factores migratorios, como se ha discutido desde diferentes visiones y multifactoriales, responden a realidades específicas, sea por oportunidades de trabajo, mayor amenidad, búsqueda de *clusters* específicos para cubrir ciertas necesidades o expectativas, y factores delincuenciales. El objetivo principal y claro de la población migratoria es mejorar su nivel y calidad de vida.

Es útil rescatar la información a nivel de entidad federativa para poder visibilizar de manera más amplia los movimientos y tendencias que nuestro país tiene conforme a su dinámica poblacional de carácter social en el plano interno. La aplicación de cadenas de Markov tiene como propósito realizar un salto en la temporalidad de los datos, para poder corroborar si en algún punto temporal la situación migratoria alcanzará una convergencia con base en los movimientos de matrices.

Después de la debida aplicación de las multiplicaciones, los datos revelados muestran variaciones que difieren en cantidades que resultan relevantes para el objetivo del presente artículo.

Tomando en cuenta que cada multiplicación de matriz equivale a diez años en salto de tiempo, es menester pensar en qué momento la convergencia migratoria tendría lugar de acuerdo con los cálculos. La Tabla 8 muestra cinco casos específicos donde la convergencia y estabilidad se da a partir de más allá de las 30 multiplicaciones, esto implicaría más de 300 años en estos movimientos poblacionales.

Tabla 8: Resultados de la matriz de transición y los años estimados para llegar al estado estacionario en migración neta

| Estado | Matriz de transición | Años |
|---|---:|---:|
| Aguascalientes | 18 | 180 |
| Baja California | 10 | 100 |
| Baja California Sur | 2 | 20 |
| Campeche | 9 | 90 |
| Coahuila | 8 | 80 |
| Colima | 14 | 140 |
| Chiapas | 5 | 50 |
| Chihuahua | 5 | 50 |
| CDMX | 9 | 90 |
| Durango | Más 30 | Más de 300 |
| Guanajuato | 7 | 70 |
| Guerrero | 11 | 110 |

continúa

Tabla 8: Continuación

| Estado | Matriz de transición | Años |
|---|---|---|
| Hidalgo | 9 | 90 |
| Jalisco | 8 | 80 |
| Estado de México | 10 | 100 |
| Michoacán | Más 30 | Más de 300 |
| Morelos | 3 | 30 |
| Nayarit | 16 | 160 |
| Nuevo León | 10 | 100 |
| Oaxaca | 7 | 70 |
| Puebla | 14 | 140 |
| Querétaro | Más 30 | Más de 300 |
| Quintana Roo | 5 | 50 |
| San Luis Potosí | 23 | 230 |
| Sinaloa | Más 30 | Más de 300 |
| Sonora | 6 | 60 |
| Tabasco | 26 | 260 |
| Tamaulipas | Más 30 | Más de 300 |
| Tlaxcala | 16 | 160 |
| Veracruz | 11 | 110 |
| Yucatán | 77 | 70 |
| Zacatecas | | 70 |

Fuente: elaboración propia.

Como ya se mencionó, la emigración e inmigración son fenómenos multifactoriales, además de que el índice de atracción poblacional que una entidad federativa puede desarrollar con respecto a sus pares depende también del todo, tal como se expresa en la teoría de sistemas de Mario Bunge, quien propone de manera muy entusiasta su pensamiento del país como un sistema complejo, cuyas partes si bien independientes se afectan mutuamente. Las decisiones de unas afectan a las demás, por lo que el alza en la atracción migratoria a nivel municipal se ve afectado por lo mismo, entre municipios y estados (v.g. procesos de industrialización, oferta laboral, paz social, calidad de vida, menores riesgos).

Desde diversos enfoques de teorías económicas, la inversión pública y privada en el territorio no es equitativa ni se encuentra distribuida de manera homogénea; ciertas entidades o regiones dentro de las mismas se han consolidado como polos de desarrollo mediante la progresiva conformación de *clusters* (i.e. conglomerados industriales y agroindustriales, corredores turísticos, distritos comerciales y financieros, zonas residenciales, etc.) según ventajas comparativas y competitivas existentes (v.g. disponibilidad de mano de obra calificada, accesibilidad ferroviaria, etcétera), estas ventajas o diferencias entre cada espacio generan las llamadas fuerzas centrífugas y centrípetas que expulsan o atraen a los agentes económicos,[11] que con aspiraciones diversas (v.g. mejorar la calidad de vida, oportunidades laborales, formación de capital humano, etcétera) aportan el todo en la decisión de cambiar de residencia ya sea de forma estacional y reiterada, temporal, indefinida o permanente.

Con los cálculos realizados de la cadena de Markov se puede visibilizar el tiempo proyectado de equilibrio en los números o si este no se alcanza; además, tenemos una maqueta matemática de los movimientos poblacionales y su redistribución dentro del territorio nacional.

Asemeja la órbita de los planetas, que por nuevos ordenamientos y factores diversos se ven afectadas de manera positiva o negativa; lo mismo se puede ver en este artículo con respecto a las tasas netas migratorias estimadas para los estados de la Federación.

La búsqueda de una mejora en la calidad de vida es naturaleza humana, por lo que se pone en la mira el comportamiento dependiendo de una mirada macro que nos permita ver el cómo se mueve, abriendo nuevas perspectivas y posibles trabajos al porqué.

Por lo tanto, la convergencia es posible siempre y cuando se tomen en cuenta los factores que puedan determinar de manera cualitativa el fenómeno, debido a que hay entidades como Baja California Sur que su resolución yace en los 20 años, mientras que a Durango en proporción le tomaría tres siglos. Cada uno tiene sus particularidades y posibilidades para el análisis micro.

## Conclusiones

Existen diversas teorías sobre concentración y convergencia económica que nos otorgan la facilidad de reconocer una herramienta muy poderosa y poco difundida en la literatura demográfica, que son las cadenas de Markov. Esta técnica, además de aproximarnos a una proyección en las clasificaciones de municipios según categorías como las tasas netas migratorias (i.e. lo realizado en este trabajo), son de utilidad para determinar los valores de convergencia de estas clasificaciones.

[11] De acuerdo con Gonzáles (2008).

Una cuestión importante es identificar si se suscita un proceso de convergencia en clasificaciones de municipios. Las estimaciones sugieren que la clasificación de municipios poco deseada (expulsión elevada) cambiará a la más deseada (atracción elevada) con el tiempo. Lo cual evidencia que no hay proceso de convergencia o una tendencia a que los municipios cambien su clasificación migratoria.

Las variables demográficas deben ser incorporadas en el análisis de las diferencias entre categorías de municipios en México*,* ya que ocupan un papel importante en la pauta general de acontecimientos registrados en la última década. En este artículo pretendemos llamar la atención acerca del proceso de convergencia de categorías de municipios en el periodo 2000-2020 y la velocidad de su tendencia.

La migración de la población es un fenómeno dinámico desde un punto de vista temporal y espacial. Las cadenas de Markov brindan una gran oportunidad de desarrollo por ser una técnica de análisis estadístico capaz de recoger en su estructura las componentes temporal y espacial.

La dinámica temporal muestra el supuesto de homogeneidad en el tiempo que no es consistente con la dinámica del fenómeno de migración, ya que es sensible a diferentes cambios. La técnica de matrices causativas constantes hace flexible el supuesto de homogeneidad temporal de las cadenas de Markov y la convierte en una poderosa herramienta en el análisis demográfico.

La técnica de las cadenas de Markov se destaca por realizar proyecciones al sistema en estudio, también proporcionar información sobre la convergencia numérica, que en nuestro estudio nos da el valor numérico de la convergencia de las categorías de municipios y agregado a estas aportaciones se puede determinar la velocidad de convergencia a la cual tienden los valores numéricos.

Dentro de las aportaciones de esta técnica también se pueden identificar las categorías de municipios que obtienen ganancias en atractivo relativo como receptoras de migrantes y de aquellas se denominan perdedoras (v.g. emisión de migrantes), este enfoque es espacial por lo que en nuestro trabajo no lo manejamos a profundidad.

El sistema migratorio municipal refleja objetivos locales, regionales y nacionales que pueden no coincidir entre sí. En áreas urbanas es más común que se produzcan conflictos importantes entre los gobiernos de diferentes partidos políticos que dirigen la misma ciudad, sin tomarla como una totalidad. Esto indica que es necesario discutir seriamente los gobiernos metropolitanos, así como la prevalencia de la planeación espacial sobre la sectorial.

Aunque la competencia entre municipios es inevitable y no puede ser eliminada mediante un decreto, es posible avanzar hacia un modelo de competencia cooperativa que requiera la presencia de instituciones locales sólidas. La intensa urbanización y metropolización registrada en el país, junto con la volatilidad de la violencia, seguirá modificando significativamente los patrones de migración y movilidad en respuesta a la redistribución territorial de las condiciones para vivir y trabajar a nivel municipal.

Este trabajo permite mostrar un perfil de la situación de largo plazo de las tasas netas migratorias en municipios de México, lo que da como resultado un proceso de convergencia positiva en el que la mayoría de los municipios ganan, ya que cambia de categoría: de expulsión a atracción. Los cambios migratorios muestran un aumento en la redistribución de las condiciones de vida y trabajo en el territorio, lo que beneficia a los municipios más desfavorecidos. Aunque parece débil, el proceso de convergencia continúa a largo plazo.

Por último, el análisis y técnica que se ha aplicado de matrices causativas constantes a tasas netas migratorias de municipios en México para el periodo de 2000-2010, procedentes de las estadísticas realizadas por CONAPO (2015). Con esto se nos ha permitido extraer un panorama general del cómo está conformada la estructura migratoria interna en municipios de la República mexicana, sobre la proyección, la convergencia y la velocidad de convergencia en sus tasas de la función sustractiva de la emigración menos la inmigración.

## Referencias bibliográficas


Acosta, F., Reyes, A. y Solís, M. (2015). "Crisis económica, migración interna y cambios en la estructura ocupacional de Tijuana, México". En *Papeles de Población*, 9-46.

Avila, S. y Medina, I. (2019). "Commuting trends in Mexico City (2007-2017)". En *Urban Mobility in Mexico City Research Project* (págs. 1-55). University of Colorado Boulder and Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE).

Bickenbach, F., y Bode, E. (2001). *Markov or not Markov-This should be a question* (No. 1086). Kieler Arbeitspapiere.

Bocanegra (2020). "Difícil adquirir vivienda en CDMX". En *RealEstate Market & Lifestyle*, 15 de diciembre de 2020. Recuperado de http://realestatemarket.com.mx/noticias/mercado-inmobiliario/31371-dificil-adquirir-vivienda-en-cdmx

CEPAL (2021). *Temas: Migración. Santiago de Chile*: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado el 26/07/2021 de https://www.cepal.org/es/temas/migracion

CNDH y UNAM (2018). *Los Desafíos de la Migración y los albergues como oasis*. Ciudad de México: Comisión Nacional de los Derechos Humanos

CONAPO (2013). *Índice Absoluto de Marginación 2000 – 2010*. Ciudad de México: Consejo Nacional de La Población.

CONAPO (2015). *Prontuario de migración y movilidad interna*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Población.

Dobbelaere, K. (2002). *Secularization: An Analysis at Three Levels*. Brussels: PIE-Peter Lang.

Fingleton, B. (1997). "Specification and testing of Markov chain models: an application to convergence in the European Union". In *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 59(3), 385-403.

Fotheringham, A. S. (1983). "A new set of spatial-interaction models: the theory of competing destinations". In *Environment and Planning* A 15(1), 15-36.

Garrocho Rangel, Carlos, and Jiménez López, Eduardo (2018). "Redistribución de la atractividad migratoria entre los municipios de México, 2000-2020". En *Estudios demográficos y urbanos* 33.2, 289-325.

Garrocho, C. (2011), *Población flotante, población en movimiento: conceptos clave y métodos de análisis exitosos*, United Nations Population Fund-El Colegio Mexiquense-Conapo, Ciudad de México.

Gonzáles Sousa, E. (2008). "Componentes de las fuerzas centrifugas generatrices de los contornos metropolitanos". En *URBANO*, 68-75.

Guijarro Garvi, M. y Hierro Franco, M. (2005). *Un análisis de la dinámica de los movimientos migratorios interregionales en España (1986-2001): una explotación del método MCC*.

Hierro, M. (2002). *Revisión crítica de algunos modelos dinámicos aplicados al análisis de la movilidad social*. Documento de Trabajo DTEE 02, 6.

Jackson, R. W., Rogerson, P., Plane, D. y Huallachain, B. O. (1990). "A causative matrix approach to interpreting structural change". In *Economic Systems Research*, 2(3), 259-269.

Kesavan, R. (1982). "An empirical test of the Causative Markov model of consumer behavior". In *Journal of the Academy of Marketing Science*, 10(4), 438-456.

Le Gallo, J. (2004). "Space-time analysis of GDP disparities among European regions: A Markov chains approach". In *International Regional Science Review*, 27(2), 138-163.

Magrini, S. (1995). *Economic convergence in the European Union: A Markov chain approach*. Department of Economics, Faculty of Urban & Regional Studies.

Magrini, S. (2004). "Regional (di) convergence". In *Handbook of regional and urban economics*, 4, 2741-2796.

McFarland, D. D. (1970). "Intragenerational Social Mobility as a Markov Process: Including a Time-Stationary Mark-Ovian Model that Explains Observed Declines in Mobility Rates Over Time". In *American Sociological Review*, 463-476.

Micolta León, A. (2005). "Teorías y conceptos asociados al estudio de las migraciones internacionales". En *Trabajo Social*: Revista del departamento de Trabajo Social, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia. 59-76

Mora, T. (2005). "Elasticities of ergodic solutions in the Markov chains approach to economic growth convergence". In *Papers in Regional Science*, 84(1), 121-126.

Mungaray, A. y Cabrera, C. (2003). "Especialización industrial y desarrollo empresarial en Baja California". En *Región y Sociedad*, 107-151.

Plane, D. A. and Rogerson, P. A. (1986). "Dynamic flow modeling with interregional dependency effects: an application to structural change in the US migration system". In *Demography*, 23(1), 91-104.

Plane, D. A. and Rogerson, P. A. (1994). *The geographical analysis of population: with applications to planning and business*.

Plane, D., Rogerson, P. y Rosen, A. (1984). "The Cross-Regional Variation of In-Migration and Out-Migration". In *Geographical Analysis*, 16(2), 162-175.

Pullman, N. J. and Styan, G. P. (1973). "The convergence of Markov chains with nonstationary transition probabilities and constant causative matrix". In *Stochastic Processes and Their Applications*, 1(3), 279-285.

Quah, D. (1993). "Galton's Fallacy and the Convergence Hypothesis". In *Scandinavian Journal of Economics*, 95, 427–43.

Quah, D. (1996). "Empirics for economic growth and convergence". In *European economic review*, 40(6), 1353–1375.

Rangel, Carlos Garrocho, Jiménez López, Eduardo y Álvarez Lobato, José Antonio (2014). "Estructura profunda de los flujos migratorios en México, 1990-2010". En *La situación demográfica en México*, 87-118.

Rogerson, P. A. (1979). "Prediction: a modified Markov chain approach". In *Journal of Regional Science*, 19(4), 469-478.

Rogerson, P. A. and Plane, D. A. (1984). "Modeling temporal change in flow matrices". In *Papers of the Regional Science Association*, vol. 54, No. 1, pp. 147-164. Springer-Verlag.

Seneta, E. (2006). *Non-negative matrices and Markov chains*. Springer Science and Business Media.

Shorrocks, A. F. (1978). "The measurement of mobility". In *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1013-1024.

Urdaneta Montiel, A. J. y Borgucci García, E. V. (2021). *La nueva economía desde el enfoque de la competitividad en la función empresarial y el libre mercado*. Editorial Digráfica.

## Resumen curricular de los autores

*Roman Sánchez Dávila*

Licenciado en Economía, Maestro en Estudios Sustentables, Regionales y Metropolitanos por la Universidad Autónoma del Estado de México, Estudiante del Doctorado en Urbanismo por la misma Universidad. Profesor en el Tecnológico Nacional de México – Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán. Líneas de investigación: Migración, Remesas, Desarrollo Local, Manifestaciones urbano-territoriales, modelización estadística y econométrica.
Dirección electrónica: roman.san.dav@gmail.com; roman.sanchez@tesjo.edu.mx
Registro ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2292-4119

*Bernardino Jaciel Montoya Arce*

Doctor en Sociología por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel I, cuenta con Perfil Deseable PROMEP. Actualmente es Coordinador del Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la Población de la Universidad Autónoma del Estado de México (CIEAP-UAEM). Entre sus publicaciones recientes se encuentran *Demografía indígena en el Estado de México* (coautor), 2013; *Aging and factors associated with quality of life for elderly people in State of Mexico*, 2017 (en coautoría con Zuriel Soria-Romero) y "La educación indígena en el Estado de México", en *Papeles de Población*, 2013.
Dirección electrónica: bjmontoyaa@uaemex.mx

*Eduardo Jiménez López*

Doctor en Ciencias Aplicadas por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Profesor en la Facultad de Geografía y Unidad Académica Tianguistenco de la Universidad Autónoma del Estado de México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 1. Evaluador del Programa Nacional de Posgrados PNPC del Conahcyt. Presidente de la Contraloría social de Becas Posdoctorales, Conahcyt 2024. Líneas de investigación

actual: El Crecimiento de la Mancha Urbana con Modelos Matemáticos y Análisis Espacial.
Dirección electrónica: ejimenezlopez333@gmail.com
Registro ORCID: http://orcid.org/ 0000-0002-1883-3890

*Hugo Montes de Oca Vargas*

Economista por la Facultad de Economía de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Maestro en Demografía por El Colegio de la Frontera Norte (COLEF), cuenta con estudios de Doctorado del Programa Estudios de Población por El Colegio de México (COLMEX). Profesor-Investigador del Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la Población (CIEAP) de la UAEMéx, es Perfil Deseable PROMEP. Cuenta con diversas publicaciones entre libros, capítulos de libros y artículos científicos en diversas Revistas Indexadas. Es actualmente Director de la Revista *Huellas de la Migración*, editada por la UAEMéx.
Dirección electrónica: huvic100@gmail.com; hmontesdeocav@uaemex.mx
Registro ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8844-7717

Artículo recibido el 7 de noviembre de 2023 y aceptado el 16 de junio de 2024