



UADY
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN

Revista de Economía

Facultad de Economía • Universidad Autónoma de Yucatán

Clubes de convergencia metropolitana en México: un análisis a través del índice lumínico

Metropolitan convergence clubs in Mexico: an analysis through the satellite nightlight index

David R. Valenzuela-Vega¹ Edgar M. Luna-Domínguez² Joana C. Chapa Cantú³

Resumen

El objetivo del artículo es identificar las zonas metropolitanas que convergen y divergen económicamente en México. Para estimar la convergencia entre las diferentes zonas, se utilizan el índice lumínico y la metodología propuesta por Phillips y Sul (2007), la cual permite la conformación de subgrupos de zonas en los que se puede presentar convergencia o divergencia entre los elementos del subgrupo generado. Al encontrarse cinco clubes de convergencia entre las diversas zonas metropolitanas de México, se demuestra que la dinámica de convergencia económica es heterogénea, por lo que resulta relevante un estudio a nivel de cada zona. De igual manera, se identifica que existe una división entre un club de convergencia con zonas metropolitanas predominantemente en el norte del país, pero esta división es más compleja que una simple división Norte-Sur. El trabajo se enfoca solo en áreas metropolitanas, por lo que no todos los municipios de México están incluidos. Si bien la metodología de Phillips y Sul (2007) permite generar clubes de convergencia sin necesidad de hacer supuestos relacionados con las propiedades de estacionariedad de las variables, esta metodología no permite identificar los factores específicos que hacen que estos grupos se formen. El presente es el primer trabajo que analiza convergencia económica entre zonas metropolitanas de México.

Palabras clave: clubes de convergencia, índice lumínico, zonas metropolitanas, crecimiento económico, sendas de transición.

Clasificación JEL: O40, O47.

1- Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Correo electrónico: david.valenzuelavg@uanl.edu.mx  ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5494-0132>

2- Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Correo electrónico: edgar.lunadmz@uanl.edu.mx  ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5245-3357>

3- Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Correo electrónico: joana.chapacn@uanl.edu.mx  ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7646-925X>



Abstract

The objective of this article is to identify the metropolitan areas that economically converge and diverge in Mexico. The luminic index and the methodology proposed by Phillips and Sul (2007) are used to estimate the convergence between the metropolitan areas of Mexico. This methodology allows the formation of subgroups of areas in which there may be convergence or divergence between the elements of the generated subgroups. There are five convergence clubs among the various metropolitan areas of Mexico, which shows that the dynamics of economic convergence are heterogeneous, and it is relevant to study them at the metropolitan area level. Although there is a division between a convergence club with metropolitan areas predominantly in the north of the country, we found that this division is far more complex than a simple North-South one. The article only focuses on metropolitan areas, so not all municipalities in Mexico are included. Even though the Phillips and Sul (2007) methodology allows us to generate convergence clubs without the need to make assumptions related to the stationarity properties of variables, this methodology does not allow us to identify the specific factors that cause these groups to form. This is the first paper that analyzes economic convergence between metropolitan areas in Mexico.

Keywords: Convergence clubs, luminic index, metropolitan areas, economic growth, transition paths.

JEL classification: O40, O47.

1. Introducción

Uno de los principales retos que enfrenta la economía mexicana y que es susceptible de aumentar por la actual pandemia de Covid-19, es la profunda desigualdad en los niveles de la actividad económica de las diversas entidades federativas. De acuerdo con Rodríguez-Oreggia (2005) y Chiquiar (2005), existen dos regiones en el país: los estados desarrollados del norte y los estados rezagados del sur. La diferencia de desarrollo económico entre ambas es exacerbada por los procesos de liberación, lo que ha provocado una suerte de ganadores y perdedores. Estas diferencias no solo se ven reflejadas en nivel regional Norte-Sur, sino que además se observan dentro de las entidades federativas, a través de sus municipios y áreas metropolitanas. Mientras que en el agregado se genera un proceso de divergencia entre estos dos grandes grupos regionales, dentro de las regiones se produce un proceso de convergencia entre aquellas entidades con la infraestructura apropiada para aprovechar cambios estructurales, como el tratado de libre comercio, y un proceso de divergencia entre las entidades sin las características necesarias para asimilar políticas de este tipo a su favor. Es decir, la heterogeneidad de las diferentes entidades del país juega un rol primordial en el análisis de convergencia. Esta heterogeneidad no solo está asociada a la falta de infraestructura, sino que además se relaciona con la vocación predominante

en la entidad. De esta forma, no se tendría que esperar convergencia entre una entidad con actividad predominantemente industrial y una con vocación turística.

Desde un punto de vista teórico neoclásico, plasmado en los trabajos seminales de Solow (1956) y Swan (1956), se plantea la posibilidad de un proceso de convergencia absoluta entre las economías, donde las menos desarrolladas alcanzan a las más desarrolladas al experimentar las primeras una tasa de crecimiento más grande que las segundas, a través del efecto de los rendimientos decrecientes de los factores. Esta posibilidad de convergencia inspiró trabajos empíricos como los de Barro *et al.* (1991) y Mankiw, Romer y Weil (1992), entre otros, que proponen un proceso de convergencia condicional. En este tipo de convergencia, el estado inicial juega un papel importante en la definición del estado estacionario: los países con diferencias en las condiciones iniciales alcanzarán distintos estados estacionarios.

Dentro de la literatura existen diversos trabajos que abordan el tema de la convergencia regional en México (Esquivel, 1999; Rodríguez-Oreggia, 2002) y el estudio del efecto de la liberación comercial en los procesos de convergencia (Cermeño, 2001; Esquivel y Messmacher, 2002; Chiquiar, 2005; Rodríguez-Oreggia, 2005; Carrion-I-Silvestre y German-Soto, 2007).

Si bien los trabajos antes mencionados estudian los aspectos de convergencia considerando la heterogeneidad de las diversas entidades federativas, éstos plantean el análisis de manera agregada y tomando en cuenta las regiones de acuerdo con las divisiones territoriales. Sin embargo, esta diversidad no es exclusiva solo de las entidades, ya que las características de la dinámica económica de cada entidad son el resultado de la combinación de las singularidades y actividades económicas particulares de cada uno de sus municipios y zonas metropolitanas. De igual manera, las metodologías utilizadas en estos estudios solo permiten la convergencia entre las entidades; o bien, la convergencia de las entidades hacia una entidad líder, bajo un marco de referencia de seguidor-líder.

Con el fin de considerar la diversidad intra-estado y de realizar el análisis de convergencia sin considerar las divisiones territoriales estatales, este trabajo estima la convergencia entre las zonas metropolitanas del país. Con base en la metodología propuesta por Phillips y Sul (2009), se buscan los grupos o clubes de convergencia que funcionan como una clasificación del tipo de zona metropolitana respecto a la dinámica de crecimiento y que pueden utilizarse para buscar los determinantes del crecimiento de cada zona. A diferencia de estudios previos, bajo esta metodología se permite la convergencia heterogénea entre zonas metropolitanas. Por ejemplo, las zonas turísticas del país pueden converger hacia un estado estacionario diferente a la convergencia que se daría en las zonas metropolitanas industriales del país.

Así, este trabajo sigue la línea en favor de la clasificación de convergencia endógena, ya que la subdivisión geográfica estatal también se puede ver como una división *a priori*, lo que se evita en el presente trabajo. Esta división *a priori* no presenta problemas cuando no se cruzan fronteras geopolíticas. Es decir, que la zona metropolitana pertenezca a un solo estado, cuando la entidad cuente con un solo centro económico o cuando presente varios con el mismo comportamiento. Sin embargo, este no es el caso para la mayoría de las entidades federativas de la República mexicana, ya que el 50% de las mismas presentan comportamientos heterogéneos de crecimiento. De esta forma, se evitan también clasificaciones basadas en la ubicación geográfica de las entidades (*i.e.* Zona Norte, Zona Centro, Bajío, etc.) y se buscan clasificaciones que, en caso de existir, se formen

naturalmente de acuerdo con sus características. De esta forma, al llevar el análisis al nivel de zonas metropolitanas, se conservan las diferencias que pueden existir entre las regiones. Además, éstas no se ven afectadas por posibles divisiones territoriales que fraccionan artificialmente lo que en un ámbito socioeconómico se ha desarrollado de forma conjunta y unificada.

Para llevar a cabo el análisis a nivel de zonas metropolitanas en la República mexicana se utiliza el Índice Lumínico (*IL*), el cual funciona como proxy de medición de la actividad económica de dichas zonas. La utilización del *IL* se debe a la falta de datos oficiales de producción municipal. Este índice presenta dos características sumamente atractivas: i) la versatilidad en cuanto a la delimitación geográfica, pues permite el acceso a datos de las diversas zonas metropolitanas en todo el territorio nacional (Llamosas, Rangel y Sandoval, 2018); y ii) la precisión en la medición de la actividad económica real, ya que no excluye la actividad económica informal (Ghosh *et al.*, 2009) y minimiza el efecto de las rentas extraordinarias petroleras en entidades como Campeche y Tabasco¹.

Finalmente, los resultados sugieren que en el 50% de las entidades federativas la dinámica de convergencia económica es heterogénea al interior, por lo que resulta relevante el estudio a nivel de zonas metropolitanas. Se encuentra también que, aunque existe un club de convergencia con elementos predominantemente del norte del país, existen cuatro clubes adicionales a este, por lo que se concluye que la conformación de clubes es más compleja que una simple división Norte-Sur. Estos resultados contrastan con los trabajos de Rodríguez-Benavides, López-Herrera y Mendoza-González (2016) y Mendoza-Velázquez *et al.* (2020), en los cuales se identifican seis y dos clubes respectivamente, al utilizar la misma metodología a nivel estatal. Finalmente, se realizó un análisis de serie truncada al considerar solo los datos hasta el 2012, como es común en este tipo de estudios. En este nuevo análisis, se identificó a la zona metropolitana del Valle de México como economía líder bajo un esquema seguidor-líder². De esta forma, resulta muy probable el rechazo de las pruebas de convergencia basadas en raíces unitarias, ya que se realizan contra un elemento de facto divergente y que presenta condiciones históricamente diferentes a las demás regiones.

El contenido del artículo se describe a continuación. La siguiente sección aborda los trabajos realizados sobre el tema de convergencia en México. La tercera presenta la metodología utilizada para encontrar los clubes de convergencia estocástica. La cuarta muestra los datos utilizados para el estudio. La quinta presenta tanto los resultados del agrupamiento como un análisis gráfico del mismo. Finalmente, la sexta cierra con las conclusiones.

¹ Los trabajos de Brida *et al.* (2013) y Rodríguez-Benavides *et al.* (2016) realizan análisis de convergencia con y sin estos estados con la finalidad de evitar dicho sesgo.

² Entre los trabajos para México que utilizan este esquema se encuentran Carrion-I-Silvestre y German-Soto (2007); Ayala, Chapa y Hernández (2011) y German-Soto y Salazar (2016); en los que se utiliza al Valle de México y/o el promedio nacional, esto afecta en gran medida los resultados de la prueba para el primer caso y parcialmente al utilizar el promedio, sobre todo en periodos en los que la actividad económica se concentra principalmente en la capital.

2. Estudios regionales de convergencia estocástica para México

Dentro de la literatura, existen diversos estudios que prueban la presencia de un proceso de convergencia entre las diversas regiones y entidades federativas de México. Por ejemplo, Esquivel (1999) realiza un estudio para las entidades federativas que comprende el periodo 1940-1995, en el cual encuentra convergencia β ; es decir, que las regiones más pobres crecen a tasas más altas que las ricas; y convergencia σ referente a la dispersión de los datos, con la particularidad de que la velocidad de convergencia es mayor para el periodo anterior a 1960. De manera similar, Cermeño (2001) muestra evidencia de convergencia condicional utilizando un panel dinámico sin regresores exógenos, en el que se encuentra una desaceleración continua del crecimiento durante el periodo 1970-1995 y convergencia condicional bajo un proceso de decrecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) estatal por persona. Por su parte, Chiquiar (2005) realiza un estudio ampliando el periodo de estudio hasta el 2001, con la finalidad de observar el efecto que tuvo el Tratado de Libre Comercio de América del Norte en el proceso de convergencia de las entidades federativas. El estudio encuentra que la ruptura en el proceso de convergencia situado en 1985 no se revierte; de hecho, se presenta un cambio estructural en el patrón de crecimiento al introducir nuevos flujos de inversión y comercio. Asimismo, Rodríguez-Oreggia (2005) detecta un proceso de convergencia hasta 1985 y un proceso de divergencia a partir del mismo año. El autor realiza pruebas agregando factores para detectar convergencia condicional y concluye que factores como el capital humano o las rentas petroleras resultan significativos de forma alternada, dependiendo del periodo en el que se encuentren. Rodríguez-Oreggia (2005) argumenta que, bajo el periodo en el cual se implementan medidas proteccionistas y/o populistas, las rentas petroleras resultan positivamente significativas, mientras que el capital humano no lo es. Esto se invierte durante el periodo de apertura comercial (1985-2000), en el que el capital humano toma relevancia. Los resultados, de acuerdo con el autor, pueden deberse a que el talento dejó de consumirse de forma predominante en la burocracia y comenzó a ser productivo en el sector privado.

En síntesis, estos estudios encuentran evidencia de la existencia de un proceso de convergencia hasta el año de 1985, seguido de un proceso de convergencia débil o divergencia a partir de ese año. Estos trabajos tienen en común que, debido a las metodologías utilizadas, operan bajo el supuesto de homogeneidad de los parámetros de convergencia. Por esta razón, se entiende que tras un choque con efectos diferenciados sobre las entidades se produzca esta pérdida de convergencia. Contrario a estos estudios, el trabajo de Carrion-I-Silvestre y German-Soto (2007) es el primer intento que considera esta falta de homogeneidad a lo largo de la serie, ya que los autores utilizan pruebas de raíces unitarias con cambios estructurales: PIB *per cápita* estatal contra PIB *per cápita* nacional. El estudio rechaza la hipótesis de raíces unitarias para varios estados al permitir el cambio estructural, lo que sugiere convergencia para ellos. De igual manera, los autores identifican que la componente determinística del PIB *per cápita* no es común entre todos los estados, lo que pone de manifiesto la importancia de tomar en cuenta los cambios a lo largo de serie y muestra evidencia de comportamientos que son consistentes con la existencia de clubes de convergencia.

Dentro de la literatura reciente, existen diversos estudios que tratan de identificar los clubes de entidades que convergen y los que divergen. Un ejemplo de estos trabajos de búsqueda de

clubes de convergencia es el de Sanén y Romero (2010), el cual identifica lo que ellos llaman núcleos de convergencia, al hacer un análisis visual de los grupos formados y clasificar a los estados del país de acuerdo con sus tasas de crecimiento. Dentro de los resultados, estos autores concluyen que los estados con más ingreso en 1970 lo siguen siendo en el 2008. En el trabajo de Ochoa (2010) se aborda el tema de la heterogeneidad de los elementos económicos al aplicar Mínimos Cuadrados Ponderados (MCP) para estimar la velocidad de convergencia interestatal, lo que permite encontrar diferentes velocidades entre los estados. De esta forma, no solo existiría la posibilidad de experimentar diversos estados estacionarios, sino también diversas velocidades de convergencia. Este resultado es relevante porque la homogeneidad de este parámetro es un supuesto para la validez de los análisis de corte transversal y los basados en análisis de raíces unitarias. Por su parte, Borrayo y Castañeda (2011) realizan un estudio exploratorio de la dinámica de una distribución (DDA por sus siglas en inglés) del ingreso regional *per cápita* para la región del centro de México, mediante técnicas de análisis no paramétricas. Los autores agregan efectos espaciales con el fin de detectar regímenes espaciales (clubes). De esta manera, encuentran evidencia de convergencia y alta movilidad, pero con la existencia de una estructura regional estratificada, es decir, la formación de clubes. En esta investigación se toma como unidad de estudio los municipios, a diferencia del resto que son a nivel de entidad federativa.

En cuanto a los estudios que abordan el tema de la convergencia regional utilizando las propiedades estadísticas de las series de tiempo, sobresalen trabajos como los de Ayala, Chapa y Hernández (2011) y German-Soto y Salazar (2016). En ambos trabajos se utiliza la metodología de Nahar e Inder (2002), en la que se busca convergencia absoluta respecto a un líder. Para el primero se toma como líderes al promedio nacional y a la Ciudad de México, encontrando que alrededor del 70% de los estados presentan un patrón de convergencia. En el segundo, los autores encuentran evidencia de convergencia en 34% de los estados cuando se permite un cambio estructural en la serie. Por su parte, Brida *et al.* (2013), utilizan un esquema de dinámica de dualismo estructural. Los autores encuentran un proceso de convergencia entre los estados que ellos clasifican como de alto desempeño (principalmente los estados de la frontera norte) y uno de divergencia entre los estados clasificados como de bajo desempeño.

Finalmente, respecto a los trabajos que utilizan la metodología de Phillips y Sul (2009) se encuentran los de Rodríguez-Benavides *et al.* (2016) y Mendoza-Velázquez *et al.* (2020). Aunque ambos estudios son realizados a nivel estatal, obtienen resultados diferentes. En el primer estudio se identifican seis clubes de convergencia al analizar PIB *per cápita* estatal para el periodo de 1970 a 2012; mientras que, en el segundo, se encuentran dos clubes al aplicar la técnica sobre el ingreso *per cápita* para el periodo de 1940 a 2015.

3. Metodología

Con la finalidad de conocer si las áreas metropolitanas se agrupan alrededor de diferentes estados estacionarios, este estudio sigue la metodología utilizada para el análisis de convergencia propuesta por Phillips y Sul (2009). Esta prueba es conocida como prueba *log t* de convergencia. Bajo la misma, se estima la convergencia absoluta o relativa entre un conjunto de entidades y se permite la conformación de subgrupos en los que se presenta convergencia entre sus elementos.

Además, esta metodología detecta e identifica entidades que presentan un comportamiento divergente a través de la aplicación cíclica de la prueba.

Un aspecto importante es que toma en cuenta la heterogeneidad que podrían presentar las entidades entre sí a través del tiempo, de tal forma que considera la posibilidad de un proceso de transición temporal de los elementos. Este proceso se puede observar iniciando con un modelo sencillo de un solo factor:

$$X_{it} = \delta_i \mu_t + \epsilon_{it}, \quad (1)$$

donde δ_i captura la distancia individual entre un factor común μ_t y la parte sistemática de X_{it} . De esta forma, se modela la relación de X_{it} con respecto a μ_t a través de dos elementos idiosincráticos, el error ϵ_{it} y la parte sistemática δ_i . Nótese que en este modelo la parte sistemática permanece fija en el tiempo. Sin embargo, Phillips y Sul (2007) modifican el modelo y permiten que varíe en el tiempo convirtiendo δ_i en δ_{it} . Además, permiten que δ_{it} contenga un componente aleatorio, de tal manera, el modelo toma la forma:

$$X_{it} = \delta_{it} \mu_t \quad (2)$$

Esta ecuación se puede descomponer hacia la forma tradicionalmente usada para un panel de datos:

$$X_{it} = g_{it} + a_{it} \quad (3)$$

donde g_{it} incorpora los componentes sistemáticos, incluyendo los componentes permanentes que dan origen a la dependencia de corte transversal, mientras que a_{it} representa el componente transitorio. De tal forma, la ecuación 2 se relaciona con la ecuación 3 por medio de la transformación:

$$X_{it} = \left(\frac{g_{it} + a_{it}}{\mu_t} \right) \mu_t = \delta_{it} \mu_t \quad (4)$$

De esta manera, X_{it} se divide en un componente compartido μ_t y uno idiosincrático δ_{it} , ambos varían en el tiempo, además permiten la heterogeneidad temporal y entre individuos a través de δ_{it} . A través de esta sencilla especificación se analiza el proceso de convergencia por medio de δ_{it} , de forma que la convergencia se da cuando:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \delta_{it} = \delta_i \quad (5)$$

Para la formulación de la prueba estadística que evalúa la condición de convergencia, Phillips y Sul (2007) proponen un modelo semiparamétrico para el comportamiento de δ_{it} en el tiempo de la forma:

$$\delta_{it} = \delta_i + \sigma_i \xi_{it} L(t)^{-1} t^{-\alpha} \quad (6)$$

donde δ_i es un efecto que se mantiene en el tiempo, $\sigma_i > 0$, ξ_{it} , es i.i.d. (0,1) en i pero débilmente dependiente en t y $L(t)$ es una función que varía lentamente en el tiempo y que tiende a infinito cuando t tiende a infinito. Esta función es la que Phillips y Sul (2007) asumen como $\log(t)$. De acuerdo con la ecuación 6, se observa que el parámetro α es el que define la velocidad a la que el componente transitorio decae a cero en el tiempo. Es bajo esta formulación que se asegura que δ_{it} converge a δ_i cuando $\alpha > 0$, convirtiéndose así en la hipótesis nula de interés. Es decir,

$$H_0: \delta_{it} = \delta \text{ y } \alpha \geq 0 \quad (7)$$

y la alternativa:

$$H_A: \delta_{it} \neq \delta \text{ para todo } i \text{ con } \alpha < 0 \quad (8)$$

La hipótesis alternativa incluye dos posibilidades. Primero, la posibilidad de divergencia cuando el segundo término de la ecuación 6 (componente transitorio) tiende a infinito. Segundo, la posibilidad de convergencia a múltiples estados estacionarios, es decir, clubes de convergencia. Por ejemplo, para el caso de la existencia de dos clubes, la hipótesis alternativa podría incluir un escenario de la forma:

$$H_A: \delta_{it} \rightarrow \begin{cases} \delta_1 \text{ y } \alpha \geq 0, \text{ si } i \in G_1 \\ \delta_2 \text{ y } \alpha \geq 0, \text{ si } i \in G_2 \end{cases} \quad (9)$$

donde G hace referencia a un club en particular.

Para poder realizar la prueba con los datos observables, Phillips y Sul (2007) proponen medir la transición de δ_{it} por medio de la construcción de una medida relativa de los coeficientes de transición:

$$h_{it} = \frac{X_{it}}{N^{-1} \sum_{i=1}^N X_{it}} = \frac{\delta_{it}}{N^{-1} \sum_{i=1}^N \delta_{it}} \quad (10)$$

así h_{it} se convierte en una medida de transición relativa y funciona como proxy del proceso de convergencia (o divergencia) en el tiempo respecto al panel, midiendo la desviación del individuo i respecto a un estado estacionario común μ_t .

Como siguiente paso, Phillips y Sul (2007) construyen la media cuadrada del diferencial de transición $\frac{H_1}{H_t}$ donde:

$$H_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2 \quad (11)$$

la cual mide la varianza de corte transversal respecto a un límite en común. Por último, Phillips y Sul (2007) muestran que la hipótesis formulada puede ser estadísticamente probada por medio del modelo de regresión:

$$\log(H_1/H_t) - 2 \log L(t) = \hat{c} + \hat{b} \log t + u_t \quad (12)$$

$$\forall t = [rT], [rT] + 1, \dots, T \quad r \in (0,1)$$

donde el parámetro r sirve para descartar la primera parte de la serie, siendo recomendable la utilización de $r=0.3$ según los experimentos Monte Carlo reportados por Phillips y Sul (2007) para muestras por abajo de $T = 50$. En esta ecuación, el parámetro clave para la prueba de convergencia es \hat{b} , que está relacionado con el factor de la ecuación α . De hecho, Phillips y Sul (2007) muestran que se cumple la relación $\hat{b} = 2\hat{\alpha}$, donde $\hat{\alpha}$ es el valor estimado de α bajo la hipótesis nula. Así, se prueba la hipótesis nula de convergencia mediante una prueba t de una cola donde se rechaza la hipótesis nula de convergencia al 5% de significancia si $t_{\hat{b}} < -1.65$. En el caso que no se rechace la hipótesis nula, se tienen dos escenarios, el primero es cuando $\hat{b} < 2$ donde se tiene un proceso de convergencia condicional y el segundo, cuando $\hat{b} \geq 2$ presentando un proceso de convergencia absoluta (Phillips y Sul, 2009).

Es así como la metodología propuesta por Phillips y Sul (2007) permite que la velocidad de convergencia sea diferente entre individuos y que esta convergencia también sea diferente en el tiempo para un mismo individuo. Por lo tanto, este enfoque toma en cuenta cambios en la velocidad de convergencia de un país, estado o zona metropolitana en el tiempo, dándole mayor poder a la prueba sobre falsos negativos en la presencia de heterogeneidad temporal, a diferencia de enfoques de raíz unitaria.

3.1. Algoritmo de convergencia

Para la aplicación de la prueba $\log t$, Phillips y Sul (2009) desarrollaron un algoritmo de búsqueda de clubes de convergencia. Un aspecto interesante del marco analítico propuesto por los autores es que el rechazo de la hipótesis nula del panel completo no implica la inexistencia de convergencia a nivel de subgrupos, ya que es posible evaluar si existen clubes de convergencia aplicándole, de manera recursiva, el algoritmo propuesto. El algoritmo, tal y como lo presentan Phillips y Sul (2009), consta de los siguientes pasos:

1. Se ordenan los individuos de forma descendente respecto al promedio de la última tercera parte de la serie.
2. Se seleccionan los k individuos con los valores más altos para formar el grupo base G_k con $2 \leq k < N$, al cual se le aplica la regresión $\log t$ y se selecciona el número k de elementos tal que se maximice el criterio:

$$k^* = \arg \max \{t_k\} \text{ sujeto a } t_k > -1.65$$

3. Se agrega uno a uno los elementos restantes al grupo base G_k y permanece en el grupo si el estadístico t es mayor que el criterio c^* .
4. Se aplican los pasos anteriores sobre los elementos que no fueron agregados al grupo, para crear un nuevo grupo. El procedimiento se repite hasta que todos los elementos sean asignados a un grupo. En caso de que, en alguna de las iteraciones, no sea posible crear el grupo base, se concluye que los elementos restantes tienen un comportamiento divergente.

Respecto al criterio de inclusión c^* , Phillips y Sul (2009) explican que este criterio está asociado con qué tan estricto se desea ser en la inclusión de elementos al grupo. A mayor valor de c^* menor riesgo de incluir erróneamente un elemento dentro del club. Así, cuando c^* se aproxima a cero desde los negativos se vuelve más estricto. Los autores recomiendan fijar $c^*=0$ cuando se tiene un T pequeño. Sin embargo, al ser este un criterio muy estricto, recomiendan correr la prueba *log t* sobre los clubes generados para descartar la posibilidad de estar formando un problema de sobre especificación, al generar un número mayor de clubes con respecto de los que realmente existen.

4. Índice Lumínico *per cápita* por área metropolitana

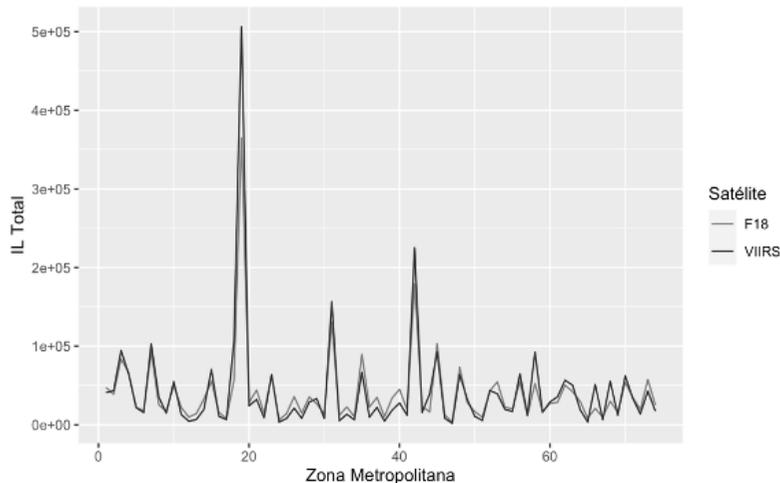
Con la finalidad de identificar las zonas metropolitanas que convergen en el país, se utiliza el *IL per cápita* (*ILpc*) para medir el crecimiento de largo plazo de las zonas metropolitanas de México. Los datos lumínicos tienen la capacidad de reflejar la actividad económica (Sutton, Elvidge y Ghosh, 2007), sobre todo en regiones con instituciones estadísticas que no son de primer nivel, o en aquellas con grados considerables de informalidad (Chen y Nordhaus, 2015a; Ghosh *et al.*, 2009). Además, tienen la ventaja de ser versátiles en cuanto a la disponibilidad por delimitación geográfica, como ya lo hace patente el estudio de Llamosas *et al.* (2018).

Para estimar el índice, se utilizaron los datos del Departamento de Defensa de Estados Unidos, procesados por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) y disponibles a través del Centro Nacional de Datos Geofísicos (National Geophysical Data Center, 2010). Se siguió la metodología propuesta por Henderson, Storeygard y Weil (2012), promediando las observaciones por año, ya que existen periodos en los que dos satélites registran los datos para un mismo año. Los datos lumínicos generados tienen una frecuencia anual de 1992 a 2015, correspondientes a algún instante entre las 8:30 p.m. y las 10:00 p.m. (hora local). La unidad de observación es el pixel, que corresponde a un área aproximada de 0.88 km² de 1992 hasta 2013. Estos datos fueron recabados mediante la tecnología OLS (*Operational Linescan System*). A partir de 2013, los datos fueron generados con la tecnología VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) (Elvidge *et al.*, 2017) que permite mayor detalle y genera datos por pixel que corresponden aproximadamente a 0.44 km². Cabe mencionar que la disponibilidad de datos bajo esta última tecnología es de periodicidad mensual para los años 2013 y 2014, por lo que se calculó el promedio anual a partir de los datos mensuales de forma similar a lo realizado por Chen y Nordhaus (2019).

Otro punto en que se diferencian ambas tecnologías es respecto a los valores máximos que pueden tomar los pixeles. La tecnología más nueva presenta valores absolutos en nano-watts/(cm² sr) y no tiene un límite superior en cuanto a la medición, mientras que la anterior presenta valores relativos entre 0 y 63 respecto al espectro visible de la luz. Para el año 2013 se cuenta con los datos bajo ambas tecnologías, de tal forma que se utilizó este año para validar la unión entre las series, en específico, las observaciones bajo la tecnología OLS del satélite etiquetado como F18 y las observaciones bajo la tecnología VIIRS. Los datos bajo ambas tecnologías presentan una fuerte correlación, con un coeficiente de 0.9. En la gráfica 1 se puede observar la similitud entre

los datos a nivel de zona metropolitana con ambas tecnologías. Un punto que resalta al observar los datos es que no se presenta un valor consistentemente mayor por parte de la observación con el satélite VIIRS, por lo que no existe un sesgo sistémico relacionado a la tecnología, excepto en los casos en los que se satura la medición por OLS. Por lo anterior, y siguiendo el procedimiento aplicado a las series con más de una observación por año, al representar una transición el caso de 2013, se promediaron los datos de ambas tecnologías³.

Gráfica 1. Luz total OLS-F18 y VIIRS para las 74 zonas metropolitanas de México (2013).



Fuente: Elaboración propia con datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos de NOAA y CONAPO, 2015.

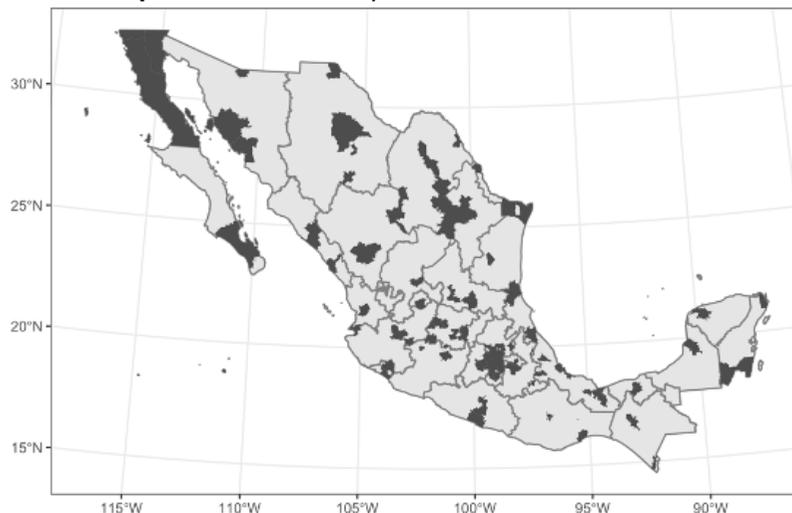
La fuerte correlación entre ambas series se explica por utilizar la zona metropolitana como nivel de agregación territorial. Como demuestran Chen y Nordhaus (2015b), los datos obtenidos con la tecnología OLS en territorios con baja densidad poblacional tienen un pobre desempeño respecto a la estimación de la actividad económica. Es de hecho en territorios con estas características que se desempeñan de forma regular actividades como la agricultura, pesca, minería y explotación de recursos forestales. Sin embargo, este no es el caso de las zonas metropolitanas, donde se realizan actividades con uso intensivo de la luz, como producción de bienes y servicios, venta minorista, logística, entre otros; es decir, actividades secundarias y terciarias. Por lo tanto, la pérdida debido a la calidad de las imágenes se minimiza. En particular, el trabajo de Chen y Nordhaus (2019) establece que la relación entre el índice lumínico y el PIB

³ En este sentido, se busca conservar la variabilidad real de las series, ya que la metodología utilizada evalúa la distancia relativa contemporánea entre los elementos bajo estudio y no la consistencia del cambio en el tiempo, como lo harían las pruebas de raíces unitarias.

es fuerte a nivel zona metropolitana⁴; de hecho, es mayor que a nivel estado. Así también, la relación entre la luz y el PIB en niveles es más fuerte que la relación entre el crecimiento del PIB y el crecimiento de la luminosidad, por lo menos para el caso de Estados Unidos, que cuenta con la información necesaria para el análisis.

Para delimitar las áreas de las diferentes zonas metropolitanas se utilizó la delimitación definida conjuntamente por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), el Consejo Nacional de Población (CONAPO) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)⁵, definidas como el conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 100 mil o más habitantes; cuya área urbana, funciones y actividades rebasan los límites del municipio, incorporando dentro de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica. Adicionalmente, se incluyen las capitales de los estados que no cumplan con el criterio anterior. Cabe mencionar que esta selección de municipios ha cambiado en el tiempo, agregándose nuevas municipalidades a medida que crecen las zonas urbanas. Por este motivo, se analizan los municipios de las zonas metropolitanas definidas en el año 2015, que es la delimitación más reciente al momento de la realización de este trabajo. Una vez derivado el listado, se obtuvo la georreferencia de los municipios por medio del mapa geoestadístico del INEGI. El mapa 1 muestra la ubicación geográfica obtenida de las zonas metropolitanas a lo largo del territorio nacional. De acuerdo con esta delimitación, existen 74 zonas metropolitanas distribuidas a lo largo del territorio mexicano.

Mapa 1. Zonas metropolitanas de México 2015.



Fuente: Elaboración propia con base en CONAPO, 2015.

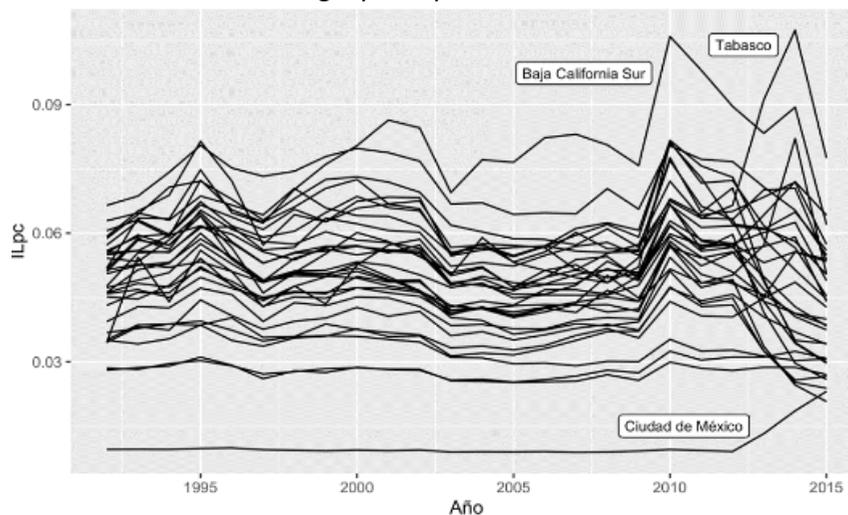
⁴ Área estadística metropolitana o MSA (por sus siglas en inglés) como lo define la Oficina de Administración y Presupuesto de los Estados Unidos de América.

⁵ Del documento *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015* (CONAPO, 2015).

Con la finalidad de tener una estimación de la producción per cápita para cada zona, el índice lumínico se ponderó utilizando los datos poblacionales de las diferentes áreas metropolitanas. Los datos relacionados a la población se tomaron de las encuestas censales e intercensales que publica el INEGI, para los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015. Se interpolaron linealmente estos datos para calcular los años faltantes.

Desagregando los datos de las áreas metropolitanas pero agrupados por estado (gráfica 2), se observa que el comportamiento no es homogéneo entre los estados, como lo mencionan Rodríguez-Benavides *et al.* (2016), al identificar seis diferentes grupos cuando analizan el ingreso estatal. Si bien el trabajo mencionado saca a relucir dichas diferencias, estas no son del todo obvias. Por ejemplo, la franja de los estados fronterizos del norte, agrupación tradicionalmente utilizada dentro de la literatura, sale a relucir desde inspecciones meramente visuales, como la de Sanén y Romero (2010), hasta bajo el análisis de desempeño como el de Brida *et al.* (2013), que clasifican estos estados como integrantes del grupo denominado de alto desempeño. De hecho, si observamos los datos, se identifica la similitud en el comportamiento del índice IL_{pc} para las zonas metropolitanas pertenecientes a dichos estados (gráfica 3), donde las diferencias son en su mayoría solo de nivel.

Gráfica 2. Índice Lumínico per cápita de las zonas metropolitanas agrupado por estado.

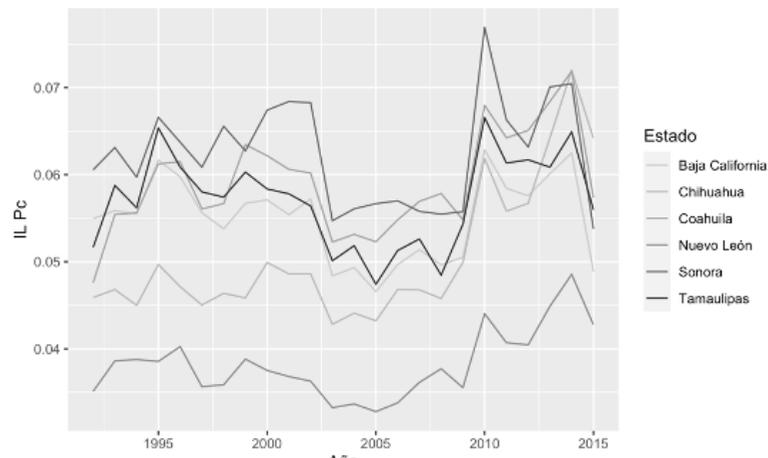


Fuente: Elaboración propia con datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos de NOAA y CONAPO, 2015.

Sin embargo, al considerar un nivel más detallado, como a nivel zona metropolitana, las similitudes ya no parecen ser tan obvias e incluso salen a relucir comportamientos diversos dentro los mismos estados. La gráfica 4 muestra las diferentes zonas metropolitanas de Baja

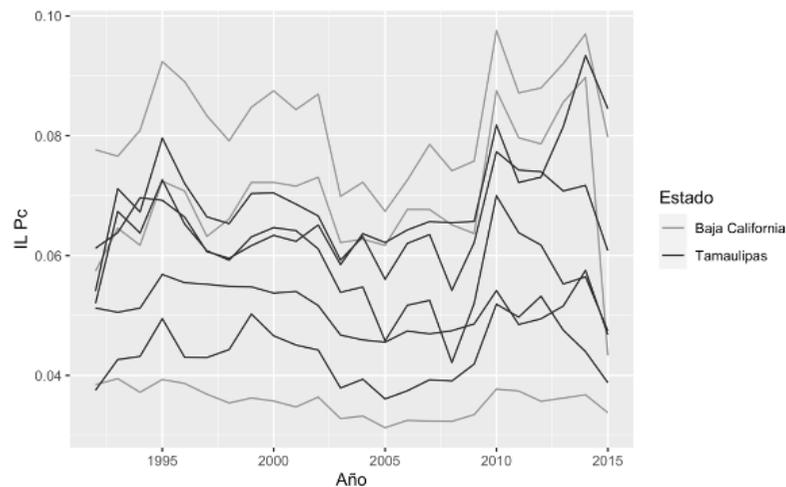
California y Tamaulipas, donde -al observar el detalle a nivel zona metropolitana- estos dos estados que en nivel agregado se comportaban de forma muy similar presentan diferencias en el comportamiento tanto al interior como entre ellos. Estas dinámicas de la actividad económica exhiben la heterogeneidad de los procesos presentes en las zonas metropolitanas y muestra la importancia de analizar el tema de la convergencia utilizando un nivel más detallado de datos.

Gráfica 3. *Índice Lumínico per cápita de las zonas metropolitanas para los estados de la frontera norte.*



Fuente: Elaboración propia con datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos de NOAA y CONAPO, 2015.

Gráfica 4. *Índice Lumínico per cápita por zona metropolitana para Baja California y Tamaulipas*

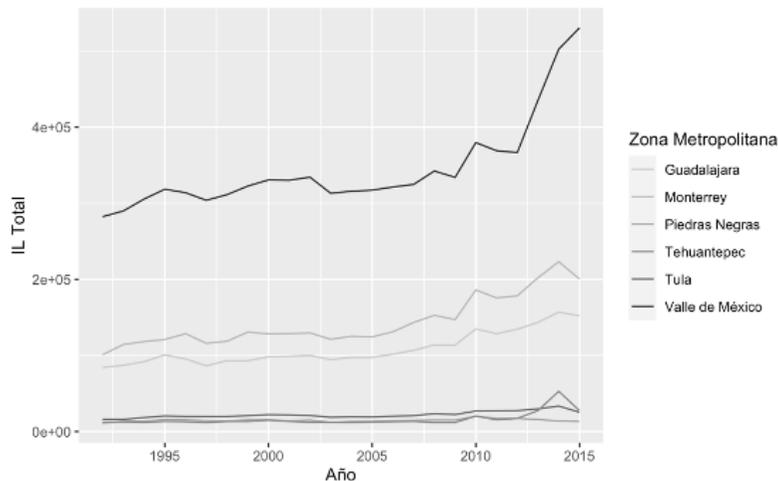


Fuente: Elaboración propia con datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos de NOAA y CONAPO, 2015.

4.1. Estadísticos descriptivos del Índice Lumínico

En promedio, las tres áreas con mayor *IL* para el periodo 1992-2015 son: el Valle de México, en la Ciudad de México (anteriormente Distrito Federal); el área metropolitana de Monterrey, en Nuevo León; y el área metropolitana de Guadalajara, en Jalisco (gráfica 5). De manera opuesta, las zonas con los índices más bajos son: Teziutlán, en Puebla; Moroleón-Uriangato, en Guanajuato; y Acayucan, en Veracruz. Es importante mencionar que estas zonas no están ubicadas en la franja fronteriza del sur como se habría esperado. Por otra parte, al controlar el *IL* por habitante, dos de las tres zonas metropolitanas con mayor *IL* presentan el menor *ILpc* promedio; es decir, el Valle de México y Guadalajara, además de Xalapa en Veracruz. Por el contrario, los mayores *ILpc* los presentan Piedras Negras, en Coahuila; Tehuantepec, en Oaxaca; y Tula, en Hidalgo (gráfica 6). En general, llama la atención la presencia de Tehuantepec⁶, ya que por lo regular las regiones del sur del país han estado históricamente asociadas a bajos niveles de desarrollo. Sin embargo, al hacer el análisis más detallado es posible detectar comportamientos que no surgen en el agregado y que pueden suponer casos de éxito bajo el contexto particular de esas regiones. Las gráficas 5 y 6 presentan las zonas metropolitanas con valores máximos respecto al *IL* y el *ILpc*. En particular, estas gráficas muestran el grupo G_{maxIL} de las tres zonas metropolitanas con mayor *IL* y el grupo $G_{maxILpc}$ de las zonas metropolitanas con mayor *ILpc*. Es relevante el análisis que se puede desprender de la interpretación de esta razón, tanto desde la perspectiva de bienestar como de una de productividad. Si bien no está dentro del alcance de este estudio, consideramos que podría dar pie a trabajos futuros.

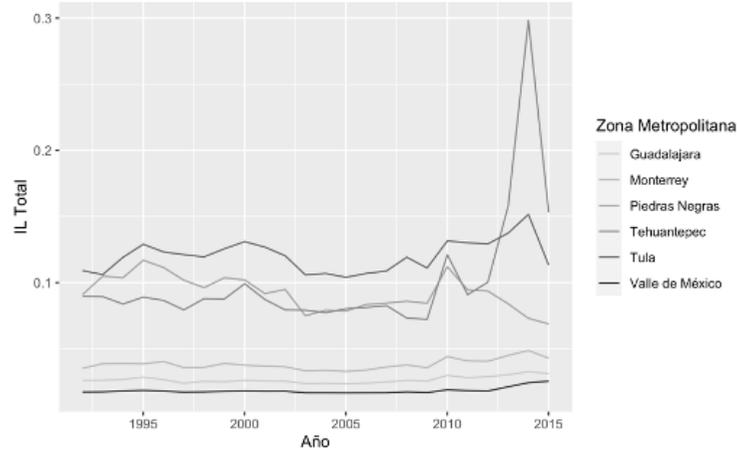
Gráfica 5. Grupos G_{maxIL} y $G_{maxILpc}$ graficados respecto al *IL*.



Fuente: Elaboración propia con datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos de NOAA y CONAPO, 2015.

⁶ Para verificar la veracidad de los datos correspondientes a esta zona metropolitana se analizaron los datos de los años 2013 y 2014, en los que se cuenta con información mensual y se confirman los valores a nivel anual.

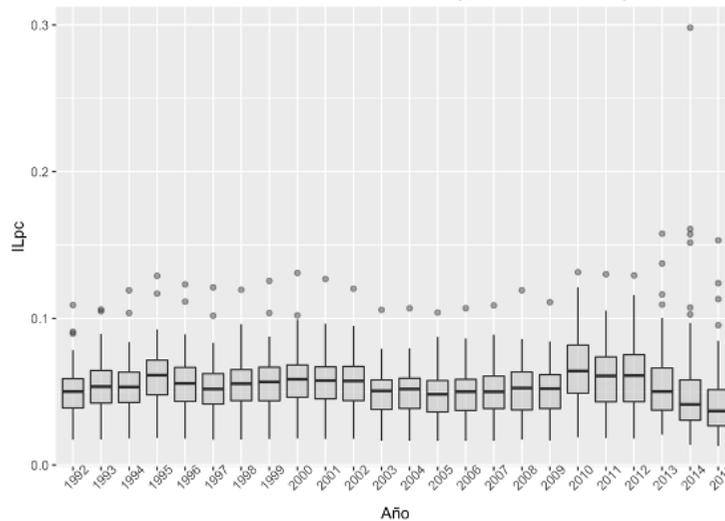
Gráfica 6. Grupos G_{maxIL} y $G_{maxILpc}$ graficados respecto al IL_{pc} .



Fuente: Elaboración propia con datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos de NOAA y CONAPO, 2015.

En cuanto a la distribución de los datos para las regiones analizadas, se observa (gráfica 7) que los datos para los últimos tres años tienen valores máximos más altos que en los años anteriores. Esto se debe a que la tecnología utilizada en esos periodos permite lecturas más altas. Sin embargo, los datos en general para esos periodos presentan valores más bajos, por lo que el cambio en tecnología no imputa valores más altos a la serie de forma sistémica.

Gráfica 7. Distribución del IL_{pc} en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia con datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos de NOAA y CONAPO, 2015.



Por último, el cuadro 1 muestra los estadísticos descriptivos del *ILpc* para el periodo 1992-2015. La primera columna corresponde al año de la observación, la segunda a la media para ese año, la tercera muestra la varianza y las restantes presentan los cuartiles uno, dos y tres que se usaron en la gráfica 7, donde el segundo cuartil corresponde a la moda de los datos. De acuerdo con el cuadro, se observa que la media del *ILpc* para cada año fluctúa alrededor del 0.05, mientras que la varianza muestra un comportamiento estable a través del tiempo, con excepción del año 2014.

Cuadro 1. *Estadísticos descriptivos del ILpc para el periodo 1992-2015*

Año	Media	Varianza	Q1	Q2	Q3
1992	0.0509	0.0002	0.0390	0.0501	0.0588
1993	0.0546	0.0003	0.0422	0.0535	0.0644
1994	0.0547	0.0003	0.0426	0.0532	0.0633
1995	0.0611	0.0004	0.0478	0.0613	0.0715
1996	0.0567	0.0003	0.0434	0.0556	0.0665
1997	0.0522	0.0003	0.0415	0.0517	0.0622
1998	0.0549	0.0003	0.0438	0.0554	0.0651
1999	0.0564	0.0003	0.0437	0.0568	0.0666
2000	0.0580	0.0004	0.0462	0.0584	0.0683
2001	0.0568	0.0003	0.0451	0.0575	0.0669
2002	0.0563	0.0003	0.0439	0.0572	0.0673
2003	0.0489	0.0002	0.0379	0.0506	0.0580
2004	0.0501	0.0003	0.0385	0.0517	0.0591
2005	0.0484	0.0003	0.0361	0.0483	0.0576
2006	0.0499	0.0003	0.0371	0.0500	0.0585
2007	0.0510	0.0003	0.0384	0.0499	0.0607
2008	0.0525	0.0003	0.0376	0.0525	0.0634
2009	0.0513	0.0003	0.0385	0.0520	0.0617
2010	0.0671	0.0006	0.0490	0.0641	0.0817
2011	0.0606	0.0005	0.0431	0.0607	0.0738
2012	0.0612	0.0005	0.0432	0.0610	0.0752
2013	0.0560	0.0007	0.0374	0.0501	0.0662
2014	0.0543	0.0018	0.0305	0.0413	0.0580
2015	0.0434	0.0006	0.0267	0.0368	0.0513

Fuente: Elaboración propia con datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos de NOAA y CONAPO, 2015.

5. Resultados

Los resultados del algoritmo de Phillips y Sul (2009) aplicado al $ILpc^7$, para un total de 74 zonas metropolitanas mexicanas, se muestran en el cuadro 2. La primera columna del cuadro muestra el número que identifica al grupo o club de convergencia al que pertenece la zona metropolitana (ZM), la segunda el número de zonas metropolitanas dentro del grupo, la tercera el coeficiente del modelo definido en la ecuación (12), la cuarta el error estándar asociado al coeficiente, y la última, el estadístico t asociado a la hipótesis nula de convergencia (ecuación 7).

Cuadro 2. *Clubes de Convergencia de las Zonas Metropolitanas en México (1992-2015).*

Número de Club	Número ZM	Coefficiente \hat{b}	Error estándar	Estadístico t
1	2	-0.543	0.482	-1.127
2	6	-0.183	0.134	-1.364
3	13	-0.302	0.222	-1.361
4	29	-0.517	0.333	-1.554
5	24	-0.447	0.285	-1.568

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

Del cuadro 2 se observa que ningún club fue detectado como divergente, ya que el estadístico t es mayor al valor crítico (-1.65), por lo que no se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significancia de 0.05. Estos resultados contrastan con los encontrados en la literatura previa. Por ejemplo, Ayala *et al.* (2011) encuentran que nueve entidades no convergen hacia el líder⁸. Además, respecto al número de clubes identificados, el trabajo de Rodríguez-Benavides *et al.* (2016) encuentra la conformación de seis clubes entre los estados; mientras que, a nivel de zonas metropolitanas, solo se encuentran cinco, hecho que atribuimos a la utilización de un mayor nivel de detalle pues se evita la generación de clubes adicionales que capturan el comportamiento combinado de dos o más grupos base. De tal forma, estos resultados sugieren la importancia de considerar una unidad de estudio más pequeña que la de entidades federativas.

Como ya se ha mencionado, el coeficiente representa la velocidad de convergencia entre los elementos de un club, donde valores cercanos a dos implican un proceso de convergencia absoluta. Los resultados obtenidos están lejos de este escenario, sobre todo los clubes 4 y 5, que superaron por poco el valor crítico de no divergencia. Estos dos clubes, que concentran el 71% de

⁷ Estudios como Llamosas *et al.* (2018) estiman la relación logarítmica PIB-índice lumínico para estimar el crecimiento de las zonas turísticas de México utilizando un modelo de datos panel a nivel estado, asumiendo efectos fijos para reconocer las diferentes estructuras productivas de las entidades. En este trabajo, al enfocarnos en zonas metropolitanas, existen diversas zonas que están conformadas por ciudades de distintos estados. Para tener un estimador de la producción preciso, que logre capturar la totalidad de la dinámica de la luminosidad, el efecto fijo debe de reconocer la estructura productiva de las áreas metropolitanas y no de las entidades federativas. Por lo tanto, estimamos los clubes de convergencia con base en el $ILpc$ en niveles como variable proxy de la actividad económica.

⁸ A un nivel de significancia del 1%.

las zonas metropolitanas, presentan una velocidad de convergencia que no es estadísticamente diferente a cero, es decir, no divergen. Por el contrario, los clubes 2 y 3 presentan los valores de más cercanos a cero, formando grupos más robustos. Por último, se encuentra el club 1, formado por Tehuantepec y Coatzacoalcos, que fue generado por un comportamiento muy similar entre ambas y altamente diferenciado del resto de las zonas metropolitanas. Este comportamiento similar se presenta sobre todo a partir del año 2009, con respuesta similar a lo que parece ser un impacto sobre la serie. Si bien el objetivo de este trabajo no es identificar los determinantes del crecimiento económico, si puede apuntar a aspectos que podrían ser relevantes en la identificación de estos.

Aunque los trabajos antes mencionados abordan el tema de convergencia a nivel estatal, es pertinente analizar sus resultados a nivel de zonas metropolitanas; en especial, los referentes a los estados que presentaron divergencia o no convergencia en los estudios previos. Y observar de forma detallada el comportamiento de las zonas metropolitanas que los componen. Por ejemplo, en el estudio de Ayala *et al.* (2011), se encuentra que solamente cuatro estados no presentan convergencia con respecto a la Ciudad de México a un nivel de significancia del 1%. De estas entidades, Baja California, Colima y Quintana Roo presentan clasificaciones mixtas bajo nuestro enfoque. Es decir, zonas metropolitanas en distintos clubes, todas con al menos un club diferente al que pertenece la Ciudad de México. El cuarto estado, Durango, tiene una zona metropolitana única que corresponde en su clasificación a la Ciudad de México, en el llamado “club mesoamericano”. Sin embargo, es posible que este comportamiento no se haya hecho visible en el trabajo de los autores antes mencionados debido al efecto de la zona metropolitana de La Laguna, que comparte con Coahuila, efecto que en nuestro caso sí fue aislado.

Finalmente, entre los resultados obtenidos, resalta el hecho de que todos los clubes están lejos de presentar un proceso de convergencia absoluta, ya que para ningún club el estimador es positivo. Además, el hecho de que se presenten valores cercanos a cero indica un proceso de convergencia lento. Esto es consistente con algunos resultados en la literatura que dan cuenta de un proceso de convergencia débil (Esquivel, 1999; Cermeño, 2001; Chiquiar, 2005 y Rodríguez-Oregia, 2005).

5.1. Heterogeneidad intraestatal

Al estudiar la dinámica del crecimiento económico regional, se pueden presentar diversos escenarios tomando como unidad de estudio las entidades federativas. Si tomamos como base que la dinámica económica de un estado es el resultado de la combinación de las dinámicas económicas de sus zonas metropolitanas, podemos tener que: 1) existe solo una zona metropolitana en el estado; 2) existe más de una zona metropolitana en el estado, pero todas las zonas metropolitanas exhiben la misma dinámica de crecimiento; y 3) existe más de una zona metropolitana en el estado y por lo menos una de ellas presenta una dinámica distinta a las demás. Si se toman acciones de política pública basadas en un estudio a nivel estado, no se tendría problema en los casos uno y dos, puesto que se habría etiquetado correctamente al estado. Sin embargo, esto no sería correcto para el tercer escenario, ya que en el mejor de los casos se estaría etiquetando respecto a las características de la(s) zona(s) metropolitana(s)

predominante(s). De este argumento radica la importancia de permitir la clasificación endógena de los elementos de forma independiente a la adscripción geopolítica y reconocer las condiciones particulares de cada zona económica.

En este sentido, los resultados muestran que de los 32 estados solo 12 contienen una sola zona metropolitana. De los 20 estados restantes, cuatro tienen a todas sus zonas metropolitanas en un solo club. De tal manera que 16 de los 32 estados presentan heterogeneidad en los procesos de convergencia lumínica *per cápita* intraestatal. Es decir, estas entidades caen en el tercer escenario, con al menos dos zonas metropolitanas en diferente club de convergencia. En el cuadro 3 se muestran los estados clasificados bajo este criterio. La primera columna clasifica a los estados con una composición homogénea de sus zonas metropolitanas, ya sea porque solo cuentan con una zona o que todas pertenecen al mismo club, mientras que, la segunda columna muestra los estados con una composición heterogénea de las zonas metropolitanas que lo componen.

Cuadro 3. Estados clasificados respecto a su heterogeneidad intraestatal.

Tipo de Composición	
Homogéneos	Heterogéneos
Aguascalientes	Baja California
Baja California Sur	Colima
Campeche	Chihuahua
Coahuila	Guanajuato
Chiapas	Hidalgo
Ciudad de México	Jalisco
Durango	México
Guerrero	Michoacán
Nayarit	Morelos
Nuevo León	Oaxaca
Querétaro	Puebla
Sinaloa	Quintana Roo
Tabasco	San Luis Potosí
Tlaxcala	Sonora
Yucatán	Tamaulipas
Zacatecas	Veracruz

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

Los estados que presentan una mayor heterogeneidad son Chihuahua, Hidalgo y Tamaulipas, con tres clubes diferentes, y Veracruz con cuatro clubes (cuadro 4). Un resultado que sobresale es que Veracruz contiene zonas metropolitanas de todos los clubes, excepto el número 3. Si bien este resultado puede estar relacionado con que sea el estado con más zonas metropolitanas, contrasta con situaciones como la de Coahuila, que contiene cuatro zonas metropolitanas, todas pertenecientes al club 3.

Cuadro 4. *Estados con mayor número de clubes.*

Estado	Número de Zonas M.	Clubes
Chihuahua	4	2,3,4
Hidalgo	3	2,4,5
Tamaulipas	5	2,3,4
Veracruz	8	1,2,4,5

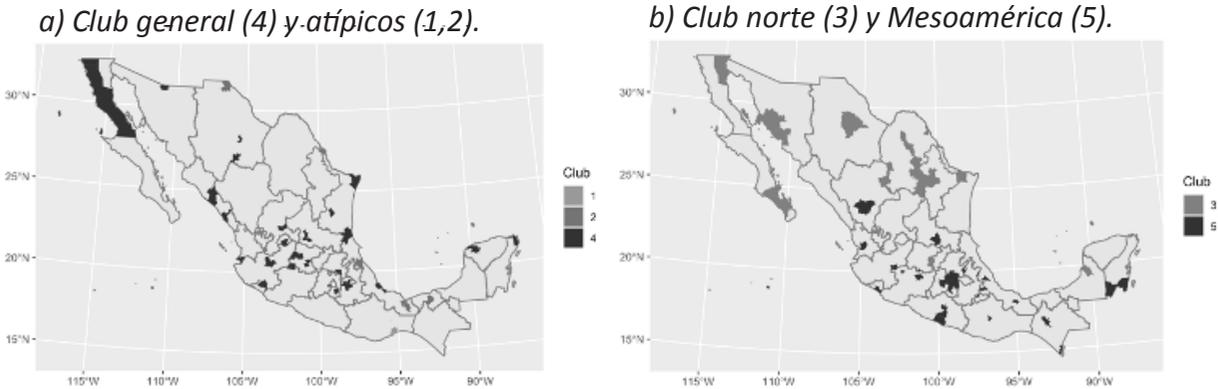
Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

Estos resultados pueden ser comparados parcialmente con los obtenidos en el trabajo de Rodríguez-Benavides *et al.* (2016), realizado a entidades federativas, tomando aquellos estados que contienen zonas metropolitanas asignadas a un solo club. Es decir, los 16 estados con una composición homogénea de sus zonas metropolitanas. La forma de evaluar puede realizarse bajo el criterio utilizado por Rosenberg y Hirschberg (2007) para la evaluación de procesos de agrupamiento. Esta medida puede tomar valores entre cero y uno, donde uno es cuando todos los grupos contienen elementos de una sola clase. En este sentido, se obtuvo un valor de 0.37 entre la agrupación realizada y la que Rodríguez-Benavides *et al.* (2016) reportaron. Si bien no es un valor alto, es mayor al valor que se obtendría al asignar de forma aleatoria uniforme entre los cinco clubes, es decir, 0.20. Por lo que se concluye que las clasificaciones no están completamente desasociadas.

5.2. Distribución geográfica de los clubes

Con respecto a la distribución geográfica de los clubes, se observan resultados interesantes. Primero, la existencia de un club que está presente a lo largo de todo el país, de punta a punta del territorio nacional. Se trata del club 4, que no solo es el que tiene más elementos, sino también el que está más uniformemente distribuido en el espacio (ver mapa 2.a). Por otro lado, existen dos clubes que dividen en dos al país. El club 3 que se presenta principalmente en el norte del país, con solo dos excepciones en Querétaro y Campeche; y el club 5, que por su distribución recuerda a la región cultural mesoamericana (ver mapa 2.b). En cuanto a los dos clubes restantes, que en conjunto agrupan solo el 10% de las zonas metropolitanas, parecen agrupar a las zonas atípicas; es decir, que agrupa pocos elementos y tienen un comportamiento característico muy diferente a los demás.

Mapa 2. Distribución geográfica de los clubes de convergencia.



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

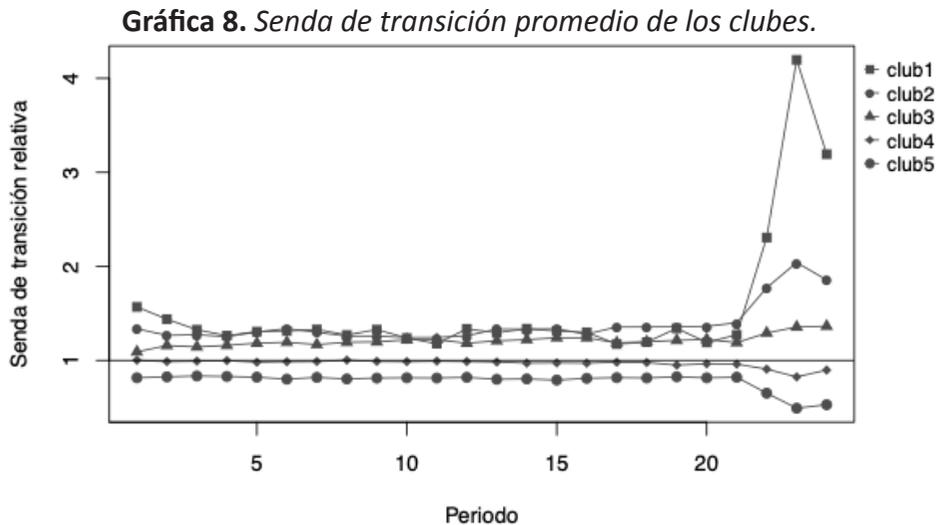
5.2.1. Análisis de las sendas de transición relativas

Como parte de la metodología propuesta por Phillips y Sul (2009), se encuentra el análisis gráfico de la trayectoria de convergencia (o divergencia) que sigue un elemento en el tiempo a través de la variable h_{it} , definida en la ecuación (10). La variable h_{it} traza la trayectoria individual para cada i respecto al promedio, así h_{it} se define como la *senda de transición relativa*. Además, h_{it} mide la distancia relativa de i respecto a la senda de crecimiento estacionaria μ_{it} , de tal forma que la senda de transición puede ser usada para evaluar la magnitud de un comportamiento divergente y evaluar si dicha divergencia es temporal o no (Phillips y Sul, 2009). Bajo un escenario de convergencia absoluta se esperaría que h_{it} se aproxime a uno para todo i , mientras que bajo convergencia relativa se mantendrían los valores dentro de una banda. Si esta senda h_{it} se aproxima hacia la unidad desde valores mayores a uno, indica que las condiciones iniciales de i eran superiores al promedio, mientras que lo contrario aplica para valores h_{it} de menores a uno. Por otro lado, si se observa que h_{it} se aleja de la unidad, se entiende que hay un proceso de divergencia.

La gráfica 8 muestra la senda de transición relativa promedio⁹ de los cinco clubes de convergencia. Una vez más llama la atención el club 4, que es el más numeroso y extendido a lo largo del país, al presentar un comportamiento estable de convergencia. De hecho, este club es el único que toca en diversas ocasiones la unidad y solo se desvía al final de la serie, por lo que 29 zonas metropolitanas presentan un proceso de convergencia con poca variabilidad entre sus elementos. Si bien todos los clubes presentan un comportamiento estable al inicio de la serie, es interesante que la totalidad de las sendas rompen su comportamiento estable en el mismo punto, pero no todas lo hacen en el mismo sentido. En el caso de los clubes 1 y 2 se rompe el comportamiento estable hacia arriba de forma pronunciada, y de forma más suave por parte

⁹ Para detalles de la implementación computacional, consultar Sichera y Pizzuto (2019).

del club 3. Esto implica que parte de sus elementos tuvieron un crecimiento considerable y que han comenzado un proceso de regreso a la convergencia, pues recordemos que no se rechazó la hipótesis de convergencia para ningún club. Sin embargo, este escenario solo le aplica a menos del 30% de las zonas metropolitanas. De hecho, las 53 zonas metropolitanas restantes tienen valores promedio de convergencia relativa por abajo de la unidad, que son las pertenecientes a los clubes 4 y 5.



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

En la gráfica 8 se observa un cambio en el comportamiento a partir del periodo 22, que corresponde al año 2013, donde los datos fueron capturados con la tecnología más moderna. Con la finalidad de evaluar el efecto que tiene esa sección de la serie sobre los resultados, se aplicó el algoritmo sobre la serie truncada. Es decir, se eliminaron los datos de 2013 a 2015. Los resultados se muestran en el cuadro 4 donde resaltan dos puntos: la existencia de un elemento divergente y el signo positivo de \hat{b} para tres de los cinco clubes. Con respecto al elemento divergente, éste es aún más interesante al tratarse de la zona metropolitana del Valle de México, la cual ha sido utilizada como líder en estudios de convergencia (Ayala *et al.*, 2011). Si bien fue utilizada desde una perspectiva de entidad federativa y no desde la perspectiva de una zona metropolitana, no deja de llamar la atención este resultado. En principio, es complejo que la totalidad de las entidades se acerquen al desempeño de la capital, dadas las condiciones de infraestructura y el tipo de actividades económicas predominantes en la zona, razón por la cual es importante analizar las dinámicas de crecimiento de manera diferenciada.

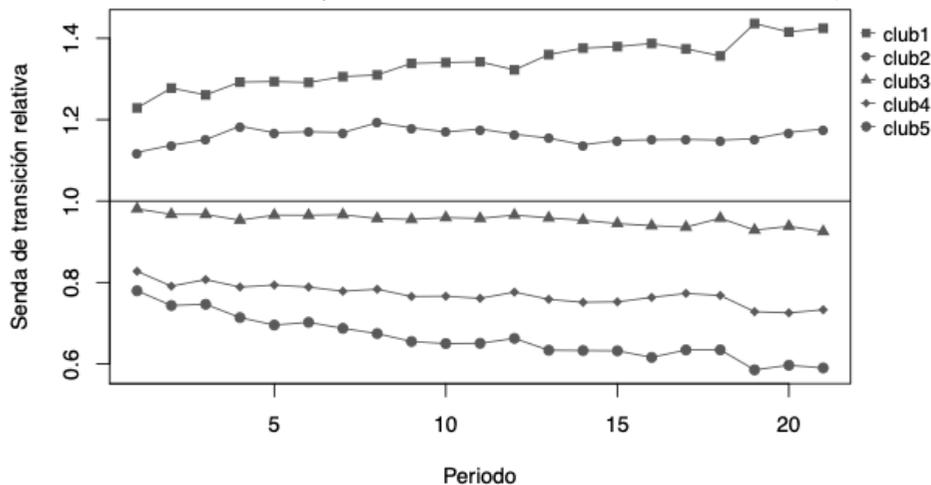
Cuadro 5. Clubes de convergencia para la serie truncada (1992-2012).

Número de club	Número ZM	Coefficiente \hat{b}	Error estándar	Estadístico t
1	21	-0.191	0.129	-1.483
2	8	-0.609	0.371	-1.643
3	20	0.031	0.17	0.185
4	12	0.138	0.253	0.546
5	12	0.1	0.215	0.463
Divergente	1	--	--	--

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

En cuanto a los valores del estimador \hat{b} de los clubes 3, 4 y 5 resalta que, aunque es positivo, su valor es cercano a cero. Esto se puede entender dado el comportamiento estable que presenta la serie (gráfica 9). Este resultado indica un proceso de convergencia lento para 44 de las 74 zonas metropolitanas, como ya se ha reportado en trabajos anteriores. Por otra parte, los clubes 1 y 2 de la serie presentan un valor negativo del estadístico t, que si bien está dentro del valor crítico (mayor a -1.65), lo cumple por poco. De esta forma, se concluye que \hat{b} no es significativamente diferente de cero; es decir, se presenta un estancamiento en el proceso de convergencia de estas zonas metropolitanas.

Gráfica 9. Senda de transición promedio los clubes con serie truncada (1992-2012).



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

Para evaluar la similitud entre ambas clasificaciones se calculó la medida de homogeneidad descrita anteriormente. La homogeneidad entre la conformación de clubes con la serie completa y la serie truncada es de 0.16. Aunque el valor encontrado es bajo, resalta el hecho de que el 95% de las zonas metropolitanas asignadas a los clubes 4 y 5 para la serie truncada, son asignadas a los mismos clubes de la serie completa, lo que se podría interpretar como continuidad en el

agrupamiento. Este no es el caso para los clubes 1, 2 y 3 del análisis truncado, que se distribuyen de forma uniforme entre los clubes de la serie completa. Los resultados para cada una de las 74 zonas metropolitanas bajo ambos procesos de clasificación se muestran en el cuadro A1 del Anexo 1.

6. Conclusiones

Los procesos de convergencia económica se deberían dar de forma diferenciada en las regiones cuyas estructuras productivas sean parecidas. Es decir, las regiones deben de tener convergencia a diferentes estados estacionarios. En este trabajo se identifican los clubes de convergencia para las 74 zonas metropolitanas de México, utilizando la metodología propuesta por Phillips y Sul (2009). Debido a la falta de información oficial a un nivel de área metropolitana, se propone el *ILpc* como variable proxy para medir la actividad económica, el cual ha sido utilizado por diversos autores (Ghosh *et al.*, 2009 y Llamosas *et al.*, 2018). Tras extraer y trabajar con la información lumínica disponible públicamente a través del portal del NOAA, se construyó el *ILpc* desde 1992 a 2015 para las 74 zonas metropolitanas de México.

Los resultados de este trabajo sugieren que las 74 zonas metropolitanas de México se pueden agrupar en 5 clubes de convergencia respecto a la dinámica del *ILpc*. A diferencia de trabajos anteriores, no se encontraron elementos divergentes; sin embargo, si se detectó un club con solo dos elementos que describen un comportamiento notablemente diferente al de los demás. Además, se encontró que 50% de los estados contienen zonas metropolitanas con más de una dinámica de crecimiento, mostrando la heterogeneidad que existe entre las diferentes regiones de México.

Con base en estos resultados, podemos concluir que México requiere de políticas públicas enfocadas a promover el crecimiento de las distintas zonas metropolitanas. Dichas políticas deben considerar, identificar y distinguir las estructuras productivas y la dinámica de estas cinco regiones. Es decir, deben ser específicas para cada región, a fin de impulsar su crecimiento económico. En este sentido, no deben partir de una visión centralista, incapaz de distinguir la diversidad en el crecimiento económico de las zonas metropolitanas. Por este motivo, cada vez es más pertinente llevar el estudio de la dinámica económica a niveles regionales y no desde una perspectiva agregada, para poder identificar claramente los rezagos y fortalezas de cada una de las distintas regiones del país.

Finalmente, si bien nuestros resultados permiten agrupar a las zonas metropolitanas de acuerdo con su club de convergencia sin necesidad de hacer supuestos relacionados con las propiedades de estacionariedad de las variables, nuestras estimaciones no permiten identificar los factores específicos que hacen que estos grupos se formen. Esto abre una nueva agenda de investigación enfocada a identificar los determinantes que generan dichos grupos de zonas metropolitanas.

Referencias

- Ayala, E.A., J.C. Chapa y D. Hernández. 2011. "Una reconsideración sobre la convergencia regional en México", *Estudios Económicos*, 26(2): 217-247.
- Barro, R.J., X. Sala-i Martin, O.J. Blanchard y R.E. Hall. 1991. "Convergence across states and regions", *Brookings papers on economic activity*, 1: 107-182.
- Borrayo, R. y J.M. Castañeda. 2011. "Análisis de transición dinámica: un enfoque no paramétrico aplicado a la región centro de México (1988-2003)", *Problemas del Desarrollo*, 42(167):7-44.
- Brida, J.G., J.S. Pereyra, M.P. Anyul y W.A. Risso. 2013. "Regímenes de desempeño económico y dualismo estructural en la dinámica de las entidades federativas de México, 1970-2006". *Economía Mexicana*, 22(1): 101-149.
- Carrion-I-Silvestre, J. y V. German-Soto. 2007. "Stochastic convergence amongst Mexican states", *Regional Studies*, 41(4): 531-541.
- Cermeño, R. 2001. "Decrecimiento y convergencia de los estados mexicanos: Un análisis de panel", *El Trimestre Económico*, 68, 272(4): 603-629.
- Chen, X. y W. Nordhaus. 2015a. "A sharper image? Estimates of the precision of nighttime lights as a proxy for economic statistics", *Journal of Economic Geography*, 15(1): 217-246.
- Chen, X. y W. Nordhaus. 2015b. "A test of the new viirs lights data set: Population and economic output in Africa", *Remote Sensing*, 7(4): 4937-4947.
- Chen, X. y W. Nordhaus. 2019. "Viirs night-time lights in the estimation of cross-sectional and time-series gdp", *Remote Sensing*, 11(9): 1057.
- Chiquiar, D. 2005. "Why Mexico's regional income convergence broke down", *Journal of Development Economics*, 77(1): 257-275.
- CONAPO. 2015. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015*, <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015-149891>
- Elvidge, C. D., K. Baugh, M. Zhizhin, F. C. Hsu y T. Ghosh. 2017. "VIIRS night-time lights." *International Journal of Remote Sensing* 38, no. 21 (2017): 5860-5879.
- Esquivel, G. 1999. "Convergencia regional en México, 1940-1995". *El trimestre económico*, 66, 264(4): 725-761.
- Esquivel, G. y M. Messmacher. 2002. *Sources of regional (non) convergence in Mexico*, Banco Mundial.
- German-Soto, V. y N. Salazar. 2016. "Testing stochastic convergence among Mexican states: A polynomial regression analysis", *Journal of Reviews on Global Economics*, 5: 36-47.
- Ghosh, T., S. Anderson, R.L. Powell, P.C. Sutton, y C.D. Elvidge. 2009. "Estimation of Mexico's informal economy and remittances using nighttime imagery". *Remote Sensing*, 1(3): 418-444.
- Henderson, J.V., A. Storeygard y D.N. Weil. 2012. "Measuring economic growth from outer space", *American Economic Review*, 102(2): 994-1028.
- Llamosas, I., E. Rangel y M. Sandoval. 2018. *Medición de la actividad económica en las principales zonas turísticas de playa en México a través de la luminosidad fotografiada desde el espacio*, Banco de México, Documento de Investigación, núm. 2018-10.
- Mankiw, N.G., D. Romer y D.N. Weil. 1992. "A contribution to the empirics of economic growth". *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2): 407-437.

- Mendoza-Velázquez, A., V. German-Soto, M. Monfort y J. Ordóñez. 2020. "Club convergence and inter-regional inequality in Mexico, 1940-2015", *Applied Economics*, 52(6): 598-608.
- Nahar, S. y B. Inder. 2002. "Testing convergence in economic growth for OECD countries", *Applied Economics*, 34(16): 2011-2022.
- National Geophysical Data Center. 2010. *Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series*, National Oceanic and Atmospheric Administration, <https://www.ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>
- Ochoa, W.R. 2010. "Convergencia económica interestatal en México, 1900-2004", *Análisis Económico*, 25(58): 7-34.
- Phillips, P.C. y D. Sul. 2007. "Transition modeling and econometric convergence tests", *Econometrica*, 75(6): 1771-1855.
- Phillips, P.C. y D. Sul. 2009. "Economic transition and growth", *Journal of Applied Econometrics*, 24(7): 1153-1185.
- Rodríguez-Benavides, D., F. López-Herrera, y M.A. Mendoza-González. 2016. "Clubs de convergencia regional en México: un análisis a través de un modelo no lineal de un solo factor", *Journal of Regional Research*, 34: 7-22.
- Rodríguez-Oreggia, E. 2002. *Polarization of income under structural changes: winners and losers of regional growth in Mexico*, London School of Economics Department of Geography and Environment, documento digital no publicado.
- Rodríguez-Oreggia, E. 2005. "Regional disparities and determinants of growth in Mexico", *The Annals of Regional Science*, 39(2): 207-220.
- Rosenberg, A. y J. Hirschberg. 2007. "V-Measure: A Conditional Entropy-Based External Cluster Evaluation Measure", en *Proceedings of the 2007 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning (EMNLP-CoNLL)*, Praga, Association for Computational Linguistics.
- Sanén, N.A. y L.Q. Romero. 2010. "Crecimiento económico, convergencia y concentración económica espacial en las entidades federativas de México 1970-2008", *Journal of Regional Research*, 18: 83-106.
- Sichera, R. y P. Pizzuto. 2019. "Convergence Clubs: A Package for Performing the Phillips and Sul's Club Convergence Clustering Procedure", *The R Journal*, 11(2): 142:151.
- Solow, R. M. 1956. "A contribution to the theory of economic growth", *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1): 65-94.
- Sutton, P. C., C.D. Elvidge y T. Ghosh. 2007. "Estimation of gross domestic product at sub-national scales using nighttime satellite imagery", *International Journal of Ecological Economics & Statistics*, 8(S07): 5-21.
- Swan, T. W. 1956. "Economic growth and capital accumulation", *Economic Record*, 32(2): 334-361.

Anexo 1

Listado de las zonas metropolitanas con el respectivo resultado del análisis de convergencia para los periodos 1992-2015 y 1992-2012.

A1. Listado de zonas metropolitanas

N	Zona metropolitana	Entidad	Club (1992-2015)	Club (1992-2012)
1	Tehuantepec	Oaxaca	1	1
2	Coatzacoalcos	Veracruz	1	3
3	Tula	Hidalgo	2	1
4	Minatitlán	Veracruz	2	1
5	Nuevo Laredo	Tamaulipas	2	1
6	Villahermosa	Tabasco	2	3
7	Juárez	Chihuahua	2	3
8	Poza Rica	Veracruz	2	1
9	Piedras Negras	Coahuila	3	1
10	Chihuahua	Chihuahua	3	1
11	Mexicali	Baja California	3	1
12	Monclova-Frontera	Coahuila	3	1
13	La Paz	Baja California Sur	3	1
14	La Laguna	Coahuila	3	2
15	Reynosa	Tamaulipas	3	2
16	Hermosillo	Sonora	3	3
17	Guaymas	Sonora	3	1
18	Querétaro	Querétaro	3	3
19	Saltillo	Coahuila	3	3
20	Campeche	Campeche	3	1
21	Monterrey	Nuevo León	3	4
22	Mérida	Yucatán	4	3
23	Matamoros	Tamaulipas	4	3
24	Tampico	Tamaulipas	4	4
25	Delicias	Chihuahua	4	1



26	Nogales	Sonora	4	5
27	Zacatecas-Guadalupe	Zacatecas	4	2
28	Pachuca	Hidalgo	4	2
29	Ensenada	Baja California	4	1
30	Celaya	Guanajuato	4	3
31	Guanajuato	Guanajuato	4	1
32	Cancún	Quintana Roo	4	5
33	Aguascalientes	Aguascalientes	4	4
34	Ciudad Victoria	Tamaulipas	4	3
35	Mazatlán	Sinaloa	4	4
36	Culiacán	Sinaloa	4	3
37	Veracruz	Veracruz	4	4
38	Tlaxcala-Apizaco	Tlaxcala	4	3
39	Cuatla	Morelos	4	2
40	León	Guanajuato	4	5
47	Puebla-Tlaxcala	Puebla	4	5
48	Guadalajara	Jalisco	4	5
49	Puerto Vallarta	Jalisco	4	3
50	Tianguistenco	Mexico	4	3
51	Tuxtla Gutiérrez	Chiapas	5	5
52	Chetumal	Quintana Roo	5	1
53	Durango	Durango	5	3
54	Tulancingo	Hidalgo	5	3
55	Toluca	México	5	4
56	Cuernavaca	Morelos	5	4
57	Orizaba	Veracruz	5	4
58	Valle de México	Ciudad de México	5	0
59	Morelia	Michoacán	5	3
60	Ocotlán	Jalisco	5	1
61	Moroleón-Uriangato	Guanajuato	5	3
62	Oaxaca	Oaxaca	5	5
63	Tepic	Nayarit	5	4

54	Tulancingo	Hidalgo	5	3
55	Toluca	México	5	4
56	Cuernavaca	Morelos	5	4
57	Orizaba	Veracruz	5	4
58	Valle de México	Ciudad de México	5	0
59	Morelia	Michoacán	5	3
60	Ocotlán	Jalisco	5	1
61	Moroleón-Uriangato	Guanajuato	5	3
62	Oaxaca	Oaxaca	5	5
63	Tepic	Nayarit	5	4
64	Tehuacán	Puebla	5	5
65	Tecomán	Colima	5	1
66	Rioverde	San Luis Potosí	5	1
67	Acapulco	Guerrero	5	3
68	Chilpancingo	Guerrero	5	3
69	Córdoba	Veracruz	5	5
70	Acayucan	Veracruz	5	1
71	Xalapa	Veracruz	5	5
72	Tapachula	Chiapas	5	4
73	Zamora	Michoacán	5	4
74	Teziutlán	Puebla	5	5

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.