

El Análisis de la Heterogeneidad Regional desde la Econometría Espacial

Jorge Pablo Rivas Díaz¹

Luis Ricardo González Arrieta²

Resumen

El presente capítulo muestra al lector una introducción al debate epistemológico sobre el papel del espacio en el análisis económico, la heterogeneidad espacial y la construcción de su análisis empírico desde las metodologías y técnicas de la econometría espacial.

El objetivo de la investigación es en primera instancia criticar al análisis económico tradicional, tanto a nivel micro como macro por sus grandes limitaciones para explicar la complejidad de los fenómenos económicos en el espacio, así como a la construcción del análisis econométrico que le acompaña regularmente, a la par que se robustece el conocimiento especializado del análisis desde el enfoque prioritario de la heterogeneidad espacial para comprender la complejidad de la construcción y desarrollo de regiones, territorios y espacios subnacionales con las metodologías y técnicas de la econometría espacial.

Se presenta una introducción al debate en términos de teorías, metodologías y técnicas, priorizando la explicación técnica acerca de ¿Cómo realizar el nuevo análisis? con lo que se invita al lector a abrir el panorama de la reflexión economicista tradicional a un análisis interdisciplinario, fusionando gradualmente las mejores herramientas y conceptos tradicionalmente de carácter geográfico y político administrativo para incorporarlos al análisis y la formulación de conclusiones y propuestas de política considerando la riqueza y heterogeneidad de la dinámica económica desenvuelta en el espacio.

Conceptos clave: Economía Urbana y Regional, Econometría Espacial, Heterogeneidad Espacial.

Introducción

El contexto y la complejidad del desenvolvimiento de la pandemia de COVID-19 en el mundo ha mostrado que hoy más que nunca es necesario cuestionar los paradigmas con los que analizamos la realidad económica y que es necesario robustecer las herramientas con las que construimos el análisis de la complejidad del sistema económico mundial, los sistemas nacionales, regionales y locales, en tanto que cada uno de ellos, representa retos y dinámicas propias, que carecen de explicación desde los enfoques tradicionales el análisis económico.

El debate de cómo entender el espacio económico y como analizarlo para poder desarrollar las políticas que requerirá la economía mundial, nacional y subnacional en años venideros requiere ser retomado en urgencia desde un enfoque prioritariamente diseñado

¹ Dr. en Economía, SUAyED, Facultad de Economía, UNAM, Jorge_p_rivas@live.com.mx

² Lic. en Economía, Facultad de Economía, UNAM, 166.gonzalez.luis@gmail.com

desde la comprensión de la heterogeneidad espacial, desde su concepto dinámico y hasta en la integración de las herramientas para perfeccionar su investigación y análisis.

La coyuntura histórica que ha impulsado la proliferación del uso de los Sistemas de Información Geográfico a nivel mundial para el desarrollo de políticas de salud pública y control epidemiológico por el COVID-19, representa una coyuntura favorable también para la renovación del paradigma económico, para integrar intensivamente al análisis espacial con mayor poder en el análisis económico regular.

Esta línea la investigación tiene un objetivo doble, es decir:

- 1) Busca criticar al análisis económico tradicional, tanto a nivel micro como macro por sus grandes limitaciones para explicar la complejidad de los fenómenos económicos en el espacio, así como a la construcción del análisis econométrico que le acompaña regularmente.
- 2) A la par, cumple la misión de robustecer el conocimiento especializado del análisis de la heterogeneidad espacial presentando al lector el marco teórico, metodologías y técnicas más relevantes y útiles para comenzar a comprender la complejidad de la construcción y desarrollo de regiones, territorios y espacios subnacionales.

Para cumplir con el objetivo, el capítulo se asiste de las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son los fundamentos teóricos en los que se requiere centrar el análisis económico espacial y cómo se debe entender el papel del espacio en el análisis económico para superar las limitaciones del análisis convencional?
- ¿Cuáles son las principales metodologías, técnicas y herramientas que permiten al investigador actualmente, llevar a cabo un análisis de indicadores económicos desenvueltos en el espacio y sus planteamientos relevantes?
- ¿Cuál es el proceso de construcción de los modelos actuales que permiten este tipo de análisis enriquecido por la heterogeneidad espacial, desde la recolección y tratamiento de datos, su procesamiento matemático y las técnicas que permiten llegar al análisis regional?

Para dar respuesta a las preguntas anteriores la investigación se ha estructurado en tres apartados principales:

El primero se enfoca en presentar el debate de los fundamentos teóricos del análisis espacial hacia un enfoque actual y crítico a las limitaciones de la economía tradicional

El segundo se encamina en la exposición de los fundamentos de las metodologías, técnicas y herramientas más relevantes y actuales que permiten el análisis económico desenvuelto en el espacio

El tercero presenta de manera pormenorizada el proceso de construcción de los modelos, con la prioridad de que el lector obtenga también la habilidad técnica de comenzar a trabajar con ellos e incorporarlo a su análisis de la situación económica actual.

Finalmente se presenta un apartado de conclusiones y propuestas para impulsar la reconfiguración del análisis económico desde el enfoque de heterogeneidad espacial basado en la econometría espacial como herramienta principal.

1. El papel de la heterogeneidad espacial en el análisis económico

Epistemológicamente la naturaleza, posibilidad, alcance y fundamentos del análisis económico ha dependido del momento histórico en el que se ha construido. Los procesos sociales, económicos, políticos e incluso naturales que lo conforman se transforman en tiempo y espacio, dando cabida a la ciencia económica como un conjunto de conocimientos dinámicos que requieren ser revisados y reformulados a la luz de las transformaciones de la sociedad.

La ciencia económica tiene por si misma su propia historia, las ideas económicas llevan el sello del periodo en el que fueron concebidas (Robinson, 1974. Pag 333), llevando a la transformación continua del conocimiento, la complementación y en su caso, la superación de los paradigmas vigentes, con la construcción de nuevas ideas para resolver los nuevos problemas que enfrenta la sociedad. Mercantilistas, fisiócratas, clásicos, neoclásicos, keynesianos y monetaristas, entre otros tantos, han venido a formar nuevas teorías e ideas que han impactado la forma en la que la sociedad entiende y desarrolla sus relaciones productivas y comerciales.

En este contexto, el análisis microeconómico y macroeconómico son los enfoques mayormente difundidos entre los profesionistas de las distintas áreas de conocimiento a nivel mundial, por lo que sus axiomas, ideas y conclusiones sobre el objetivo y naturaleza de la economía se encaminan desde ellos independientemente de la especialidad del profesionista que pretende entender la dinámica económica, dejando vacíos de conocimiento económico y social con implicaciones complejas para la gestión de las relaciones económicas de un mundo cambiante y diverso.

En las pláticas de sobremesa se puede encontrar siempre la conversación sobre los mercados, los precios, la producción, la demanda, la inversión y el papel del gobierno para impulsar la economía a nivel nacional y en mercados particulares, con lo que pareciera que ello es la economía a un nivel general. No obstante que desde los enfoques neoclásico y keynesiano, se edifican estas ideas y se desarrollan las principales políticas económicas a nivel nacional para la promoción de la inversión y el consumo y para el direccionamiento del proceso de globalización desde las instituciones financieras internacionales, en ellos el espacio económico es un elemento que en esencia resulta inexistente, dejando agujeros conceptuales que por exceso de simplificación en el análisis se pierden de la comprensión del fenómeno en la generación de directrices de política.

Es un hecho sustentado que existen tendencias estructurales del sistema económico que llevan a su movimiento dialectico, al crecimiento, la crisis y la desigualdad (Lenin (1975), Schumpeter, 1957, Wallerstein(1983 y 2004) y Rivas (2017) que llevan contradicciones complejas implícitas entre la dinámica económica, el empleo, el capital y el trabajo, el bienestar social e incluso a la degradación ambiental (Engels(1961), Georgescu-Roegen(1971) Leef (2004)y Martínez y Schlupmann (1992), donde la heterogeneidad de las

condiciones materiales del espacio donde se desenvuelven las relaciones económico-sociales resulta de alta relevancia analítica.

El espacio es la estructura de soporte de las relaciones económicas y sociales, ellas no pueden ser entendidas ni se pueden desenvolver si no es por el conjunto de condiciones materiales presentes en el espacio, que lo valoriza como parte del sistema económico, lo transforma y se transforma con él para adecuarlo a sus propias necesidades de desarrollo (Rivas, 2017), donde el espacio mundial es una articulación de espacios locales y nacionales diversos que ofrecen la posibilidad de expansión al sistema (Topalov, 1979) lo cual, se entiende como una idea irrelevante en el enfoque hegemónico del análisis económico.

La interpretación consolidada de autores como Castells (1973,1974y 1997), Lipietz (1979), Topalov (1979), Lojkine (1981), Altvater (2001), Lefebvre (1983), Harvey (2007 y 2012) y Rivas (2017), permite integrar el análisis de la relevancia del espacio en el análisis económico, como parte esencial del proceso de acumulación, producción y consumo de la sociedad, la división espacial del trabajo, la integración económica espacial y la necesaria diversidad de espacios en cuanto a las condiciones económico-productivas, poblacionales, ambientales e incluso en cuanto a sus condiciones de administración y gestión pública.

Las condiciones espacio-temporales son sumamente relevantes para el éxito del desarrollo económico de la sociedad, no obstante, el énfasis analítico en los enfoques teóricos micro y macro, también han rezagado el uso y difusión de metodologías enfocadas en el análisis espacial dejándolo fuera del panorama de trabajo del economista promedio y los generadores de política, quienes enfocan su esfuerzo en caminos generales, de mercado y de alcance nacional, fortalecidos con modelos matemáticos de regresión en econometría tradicional, de series de tiempo si entender la complejidad de la diversidad del análisis sectorial y el mosaico de condiciones heterogéneas subnacionales que implica la realidad de la dinámica de los países y sus espacios subnacionales.

Resulta necesario integrar aceleradamente la noción de la diversidad del espacio y su transformación a través del tiempo, pues cada uno de ellos tiene su propia historia y potencial, así como necesidades distintas de gestión e intervención para promover el bienestar de su población y su desarrollo sustentable.

Sobre todo resulta relevante y vigente este llamado, a renovar la perspectiva del análisis económico, a la luz de los fenómenos observados durante la reciente crisis económica y de salud provocadas por la pandemia de COVID-19, en donde se volvió evidente que distintas regiones a nivel internacional y subnacional se vieron afectados de manera desigual, impactando de manera desigual en sus dinámicas locales y regionales, imposibilitando la gestión económica y social de manera homogénea a nivel nacional para evitar una crisis mayor.

A pesar de tener metas generales en común, asociadas a la noción de bienestar económico y social, cada región por su configuración específica requiere de entenderse y actuar de manera distinta, con lo que se requiere también de desarrollar y promover el uso de metodologías, técnicas y herramientas de valor para el análisis de dicha heterogeneidad espacial y la conformación de regiones con condiciones comunes desde un análisis económico y no únicamente de carácter geográfico y descriptivo.

2. Metodología, técnica y herramientas para el análisis económico en el espacio

La Econometría Espacial

El mejor encuadre metodológico con el que se cuenta actualmente para integrar y procesar la riqueza de la información estadística dispuesta a un nivel de desagregación territorial para su análisis desde un enfoque de heterogeneidad, complejidad, dinámico y causal, es el de la Econometría Espacial, el cual ofrece un campo de herramientas, de modelos económicos, estadísticas, matemáticas y datos encaminado a la comprensión de la interacción y la estructura espacial.

La diada que conforman la interacción y la estructura espacial permite dar luz sobre la forma en la que las diversas condiciones características del espacio se organizan, se relacionan entre sí y construyen regiones de interés para fines analíticos diversos, sea por atributos económicos, sociales, políticos o de cualquier naturaleza que se le pueda relacionar. De acuerdo con Anselin (2001, pág. 310) el tratamiento de la interacción espacial, también llamada autocorrelación espacial y la estructura espacial, igualmente denominada como heterogeneidad espacial, se entrelazan en modelos de regresión para datos transversales y de panel, los cuales permiten llegar a conclusiones de alta relevancia, sobre todo con el desarrollo de grandes bases de datos espaciales y las tecnologías de la información.

Heterogeneidad y Autocorrelación Espacial

La heterogeneidad espacial resulta relevante al utilizar unidades espaciales, es decir de carácter georreferenciado, en las que un fenómeno se distribuye de manera distinta sobre el espacio, siendo definida por Anselin (2001, pág. 311) como “inestabilidad estructural”, definida matemáticamente en la forma de “varianzas no constantes de los residuos de una regresión (heterocedasticidad) o en los coeficientes del modelo, que es posible abordar mediante técnicas de econometría tradicional o con herramientas propias de la econometría espacial”.

La heterogeneidad espacial denota, por tanto, inestabilidad estructural y heterocedasticidad, que como señala Chasco Yrigoyen (2004) consiste en la ausencia de estabilidad en la dispersión de un fenómeno como sucede con los residuos de una regresión, la cual puede representarse de la siguiente forma:

$$Var(u_i) = \sigma_i^2$$

Donde σ_i^2 : indica que la varianza de la perturbación aleatoria es diferente para cada observación muestral i , donde las causas de la heteroscedasticidad espacial están relacionadas tanto a las características de los datos, como la de unidades espaciales irregulares, causas de tipo sociológico, etc., las cuales pueden ser tratadas con herramientas propias de la econometría convencional por ello nos enfocaremos en la autocorrelación espacial³.

Por otra parte, **la autocorrelación espacial**, que consiste en términos generales de la correlación entre miembros de series de observaciones (variables) ordenadas en el espacio

³ Se recomienda la lectura de Chasco Yrigoyen (2004) para profundizar en el tema de heterogeneidad espacial.

(Gujarati & Porter, 2010, pág. 413), requiere de tomar en cuenta, también, los efectos de esta variable en las regiones vecinas, debido a que este tipo de datos presentan dependencia o autocorrelación en el espacio, sea por dependencia o autocorrelación espacial, la cual puede definirse como la existencia de una relación funcional entre lo que ocurre en un punto del espacio y lo que sucede en otro lugar, lo cual se explica fundamentalmente por razones de interacción humana con su entorno físico-ambiental” (Quintana Romero & Angel Mendoza , 2016, pág. 322) por encontrarse asociadas a una localización geográfica e histórica.

Teniendo en cuenta esta relación funcional entre los espacios, Pérez Pineda (2006, pág.136) complementa que se puede entender dos tipos de autocorrelación espacial, es decir de:

- 1) La autocorrelación espacial positiva, donde si la existencia de un fenómeno determinado en una región dada propicia su expansión a otras regiones circundantes y dicha expansión genera la concentración de este, y
- 2) De manera opuesta, la autocorrelación espacial negativa se refiere a la existencia de un fenómeno en una región que impiden u obstaculizan la aparición de estos en otras regiones vecinas.

Ambas nociones permiten entender que en la continuidad del espacio puede existir, homogeneidad y contradicción entre espacios, conformando regiones con condiciones y dinámicas económico y sociales diversas en un mismo momento, a pesar de formar parte de un mismo contexto económico general.

Matrices e Índices fundamentales para el análisis espacial

La econometría espacial se centra en la naturaleza de un análisis de variables no homogéneas, agrupadas en formas diversas en el espacio, lo que implica la necesaria superación del problema de múltiples relaciones multidireccionales, debido a que cada observación, cada unidad espacial, posee distintas características como distintos tamaños, ubicaciones y distancias entre ellas, entre otras tantas características que le dan su valor único en el sistema económico, de tal manera que, requiere de un instrumento donde se puede expresar la dependencia espacial y que con ello se pueda resolver el problema de la multidireccionalidad, siendo este instrumento denominado como la **matriz de pesos espaciales** (Pérez Pineda, 2006, pág.137).

Moreno Serrano & Vayá Valcarce (2002) señalan que la matriz de pesos espaciales (de retardos o contactos) es una matriz cuadrada no estocástica (W) cuyos elementos (w_{ij}) reflejan la intensidad de interdependencia existente entre cada par de regiones i y j (pág.86), a lo que Quintana Romero & Ángel Mendoza (2016) señalan que estas matrices pueden ser establecidas a través de conectividad o vecindad, como es el caso de las matrices de: 1) vecindad por contigüidad y 2) vecindad por distancia.

En la primera, la noción de vecindad se puede establecer de forma binaria, en donde si dos unidades espaciales tienen una frontera en común se les asigna un uno, en el caso contrario se les asigna un cero. Bajo esta idea una variable particular se podría referenciarse

en un mapa, a partir del cual es posible establecer sus fronteras y, en consecuencia, identificar sus vecindades. Aunque esta opción tiene sus limitaciones debido a que solo considera la vecindad física por lo cual no contabiliza la posibilidad de interacción entre regiones alejadas, por lo que se propuso la segunda matriz que está sustentada en las distancias de diferente tipo.⁴

El Índice Global de Moran⁵ permite analizar a profundidad y de forma integral las variaciones de autocorrelación espacial entre valores vecinos más cercanos, los cuales pueden clasificarse como positivo, negativo y sin autocorrelación espacial (Hidalgo Bucheli, 2019, pág.97) donde la no autocorrelación espacial es posible si los datos se encuentran distribuidos de forma aleatoria. Según Hidalgo Bucheli (2019) el índice se obtiene de una fórmula generada por un algoritmo complejo para lo cual es necesario usar la estructura de un SIG con capacidad geoespacial, llegando al siguiente resultado (ecuación 1):

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Donde:

N = Numero de unidades geográficas en el mapa

w_{ij} : Matriz de distancia que define las áreas geográficas i y j son contiguas o no.

El resultado de esta fórmula arroja una regla de decisión que valida o no la hipótesis planteada.

- Si H_0 : Índice de Moran = 0 \rightarrow H_0 : Índice de Moran es igual a 0, entonces no existe autocorrelación espacial, lo que nos llevaría a aceptar la hipótesis nula.
- Si H_0 : Índice de Moran \neq 0 \rightarrow H_0 : Índice de Moran es diferente de 0 por tanto si existe autocorrelación espacial.

Este coeficiente se ajusta a la prueba de significancia estadística de valores de Z (suponiendo una distribución normal), así mismo tenemos el valor de P que es una probabilidad entonces para afirmar la existencia de la autocorrelación espacial, el índice de Moran debe de ser diferente de 0 y con una probabilidad menor a 0.05 para que exista la autocorrelación espacial en la variable (Hidalgo Bucheli, 2019, pág. 97-98)

Para la representación de este índice se requiere del diagrama de dispersión de Moran, según Chasco Yrigoven (2003) se estandariza la variable a analizar y se obtiene el retardo espacial, los cuales serán representados en un eje cartesiano, donde la pendiente de la recta de regresión es el valor del estadístico I de Moran de autocorrelación espacial global (Chasco Yrigoven, 2003, 15pág.).

⁴ Se recomienda la lectura de Quintana Romero & Ángel Mendoza (2016) expone ampliamente la construcción de la matriz de pesos espaciales

⁵ Medida estadística desarrollada por Alfred Pierce Moran (1950)

Los diferentes cuadrantes del plano cartesiano representan un tipo de autocorrelación espacial, donde el diagrama queda dividido por el tipo de asociación espacial siendo cuatro categorías: dos para la autocorrelación espacial positiva (I y III cuadrante del plano cartesiano) donde se presentan aquellas unidades espaciales de análisis con un valor superior/inferior del fenómeno de estudio (valor estandarizado positivo/ negativo) que se encuentran rodeadas por otras unidades espaciales que contiene el mismo valor superior/inferior del fenómeno (retardo espacial positivo/ negativo). Por el contrario, las dos categorías faltantes son para la autocorrelación espacial negativa que es representada por los cuadrantes II y IV estos a su vez representan las unidades con valores bajos/altos del fenómeno de estudio con valores altos/bajos de dicho fenómeno⁶ (Chasco Yrigoven, 2003, pág. 15-16).

Para detectar patrones de agrupación local o clúster, en las series de datos espaciales se han desarrollado los **mapas LISA (“Local Indicator of Spatial Asociation”)**, los cuales vienen a complementar el análisis de heterogeneidad y autocorrelación espacial y las asociaciones del Índice de Moran. Como señala Chasco Yrigoven (2003) los mapas LISA representan aquellas localizaciones con valores significativos en indicadores estadísticos de asociación espacial local, los cuales denotan la presencia de puntos calientes (“hot spots”) o atípicos espaciales, cuya intensidad dependerá de su significancia asociada (Chasco Yrigoven, 2003, pág. 17) (Mapa LISA de significancia) y de clúster (Mapa LISA de clúster) (véase cuadro siguiente).

Cuadro 1. Tipos de Mapa LISA Local Indicator of Spatial Asociation

Mapa LISA de significancia:	Mapa LISA de clúster:
Muestran las ubicaciones con estadísticas locales significativas de Moran en diferentes tonos de verde, estos tonos representan sus diferentes valores de “p-value”, el cual se obtiene despues de aplicar las 9,999 permutaciones para evitar la sencibilidad en aleatorización particular.	Muestra la informacion del mapa de significancia, presentando, donde las ubicaciones significativas son codificadas por colores dependiendo del tipo de autocorrelación espacial. Siendo el rojo obscuro para “Alto-Alto”, azul obscuro para “Bajo-Bajo”, rosa para “Alto-Bajo” y azul claro para “Bajo-Alto”. Este cuadro de categorías corresponde a los cuatro cuadrantes en el diagrama de dispersión de Moran. (págs. 140-142)

Fuente: Elaborado con información de González Arrieta (2022) y Anselin (2005)

Los mapas LISA, índice y el índice de Moran permiten, por tanto, entender la construcción de regiones, es decir vecindades de unidades espaciales que, a pesar de su heterogeneidad estructural, pueden reconsiderarse como parte de un mismo sistema construido por relaciones funcionales internas al propio sistema de variables de análisis, con lo que se vuelven herramientas de alta relevancia para el análisis de desigualdad y heterogeneidad espacial.

3. Principales Modelos y su proceso de construcción

Los modelos espaciales buscan construir razonamientos de causalidad espacial basados en las condiciones heterogéneas del espacio, partiendo de la existencia de información suficiente, referenciada a condiciones de territorialidad (georreferenciadas) y la existencia

⁶ Existen otras representaciones graficas para exponer la dependencia espacial, por ello se recomienda la lectura de (Chasco Yrigoven, 2003) para profundizar en el tema.

de relaciones funcionales representables estadísticamente entre las distintas unidades de análisis espacial a través de la variable de estudio.

En la actualidad, para desarrollar un modelo econométrico espacial se requiere de probar condiciones mínimas de la dependencia espacial de las variables analizadas, esto se logra a partir del uso del conjunto de indicadores anteriormente descritos, como es el caso del índice de Moran y los mapas LISA. Posteriormente a la comprobación de la dependencia espacial se requiere de especificar un **modelo de regresión espacial** que tome en cuenta dicha dependencia.

Siguiendo el planteamiento de Quintana Romero & Miguel Ángel Mendoza (2016) el modelo espacial parte del siguiente modelo general (ecuaciones 2 y 3):

$$y_i = \rho W_1 y_i + \beta X_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$\varepsilon_i = \lambda W_3 \varepsilon_i + u_i \quad (3)$$

Con $u_i \sim N(0, \Omega)$ siendo los elementos diagonales de $\Omega_{ij} = h_i(ZA)$ con $h_i > 0$

Donde y_i es el vector de la variable endógena, X_i es una matriz de variables exógenas y el término de error ε_i que incorpora una estructura de dependencia espacial progresiva, W_1 , W_2 y W_3 son matrices de pesos espaciales.

Tomando en cuenta dicha especificación general los expertos en econometría espacial como Quintana Romero & Ángel Mendoza (2016) y González Arrieta (2022) encuentran que se pueden generar al menos seis casos particulares de modelo de regresión con relevancia para el análisis de variables de carácter espacial, es decir de:

- 1) Modelo de Regresión Clásico sin efectos espaciales,
- 2) Modelo Autorregresivo,
- 3) Modelo de Error Espacial Autorregresivo,
- 4) Modelo Mixto Autorregresivo Espacial con Errores Espaciales Autorregresivos (SARMA) y
- 5) Modelo Durbin Espacial,
- 6) Modelo Error Durbin Espacial.

El modelo de regresión clásico adolece de relevancia para el análisis espacial, no obstante, es punto de partida obligada para el análisis, mientras que los modelos autorregresivos y de error espacial agregan al análisis el componente espacial y los errores del modelo, lo que permite comprender la dinámica de vínculos funcionales entre las unidades espaciales analizadas. Por otra parte, el modelo mixto permite atraer lo mejor de los modelos anteriores, integrando el peso espacial y los errores del modelo. Finalmente, los modelos Durbin, tanto espacial como de error espacial se caracterizan por sobreponerse al factor común, tanto aplicado al rezago a las variables como al error espacial en cada caso.

A continuación, se presenta un cuadro con una breve exposición de las condiciones básicas de cada modelo, sus ecuaciones principales y su descripción general, a fin de que el lector pueda obtener un panorama general de cada uno de ellos.

Tabla 1. Modelos econométricos espaciales básicos y sus características

Tipo modelo	Ecuaciones principales	Descripción
Modelo de Regresión Clásico sin efectos espaciales. $P = 0, \lambda = 0, \theta = 0$	$y_i = \beta X_i + \varepsilon_i$ $\varepsilon_i = u_i$	Se tiene un modelo de econometría convencional sin el peso espacial (W).
Modelo Autorregresivo $P \neq 0, \lambda = 0, \theta = 0$	$y_i = pW_1y_i + \beta X_i + \varepsilon_i$ $\varepsilon_i = u_i$	En este caso agregamos el componente espacial (W), en el rezago de la variable dependiente
Modelo de Error Espacial Autorregresivo $P = 0, \lambda \neq 0, \theta = 0$	$y_i = \beta X_i + \varepsilon_i$ $\varepsilon_i = \lambda W_1 \varepsilon_i + u_i$ Que se puede reescribir en su forma final como: $y_i = \beta X_i + (1 - \lambda W_3)^{-1} u_i$	En este caso el componente espacial se encuentra en los errores del modelo (ε_i).
Modelo Mixto Autorregresivo Espacial con Errores Espaciales Autorregresivos (SARMA) $P \neq 0, \lambda \neq 0, \theta = 0$	$y_i = pW_1y_i + \beta X_i + (1 - \lambda W_3)^{-1} u_i$	En el modelo SARMA ubicamos el peso espacial en el rezago de la variable dependiente (y_i) y en los errores del modelo (u_i) Combinando los dos modelos anteriores.
Modelo Durbin Espacial $P \neq 0, \lambda = 0, \theta \neq 0$	$y_i = pW_1y_i + \beta X_i + \lambda W_1 X_i + u_i$	La estrategia de Durbin sobre el factor común se aplica al modelo de Rezago Espacial, puesto que el peso espacial (W) se coloca en cada una de las variables del modelo (" y_i " y " x_i ").
Modelo Error Durbin Espacial: $P = 0, \lambda \neq 0, \theta \neq 0$	De la primera ecuación despejar los errores y sustituir en la segunda $y_i - \beta X_i = \lambda W_3 (y_i - \beta X_i) + u_i$ Al despejar y_i , se obtiene: $y_i = \lambda W_3 y_i + \beta X_i + \theta W_3 X_i + u_i$ Donde $\theta = -\lambda X_i$	La estrategia de Durbin sobre el factor común se aplica al modelo de Error Espacial.

Fuente: Retomado de González Arrieta (2022)

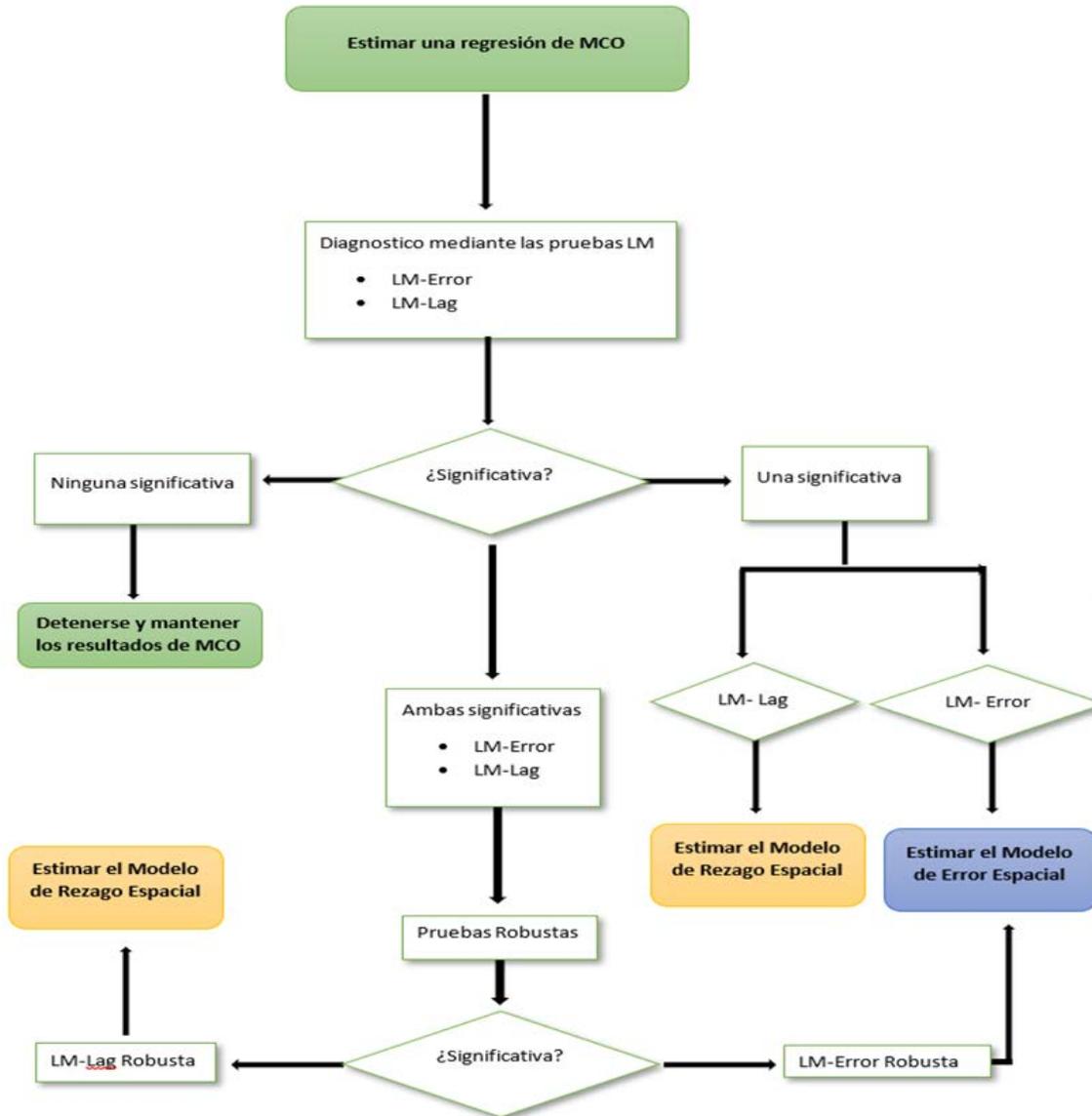
La Prueba del Multiplicador de Lagrange es relevante como apoyo fundamental para descartar opciones entre los seis modelos disponibles de econometría espacial, debido a que brinda al investigador cinco informes distintos que llevan de manera conjunta y secuenciada a tener una idea concreta sobre la estimación del modelo espacial y determinar cuál de ellos es el adecuado con base a la dependencia espacial de los datos, pues no todo modelo corresponderá a en todo momento a una estructura espacial de los datos dada.

Anselin (2005, pág. 197-1998) desarrolla un árbol de flujo de decisión que explica el proceso de diagnóstico y evaluación de la estrategia de decisión en la selección de los modelos espaciales basados en la prueba lagrangiana, donde se parte de un modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios, para proceder al diagnóstico de significancia de los distintos tipos de modelos hasta obtener los indicadores necesarios para una selección adecuada a las necesidades y alcances de las variables analizadas.

La secuencia de evaluación camina sobre los dos primeros informes estadísticos, es decir, "LM-Lag" y "Robust LM-Lag" que pertenecen a la alternativa del modelo de retardo espacial, para seguir en el camino de los siguientes dos, que corresponden a "LM- Error" y

“Robust LM-Error” que son los informes del modelo de error espacial, para por último evaluar el informe de “LM-SARMA” que constituye a la alternativa de orden superior de modelo con términos de retardo y error espacial.

Ilustración 1. Estrategia de decisión de modelos



Fuente: Retomado de Anselin (2005) Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook

Siguiendo las ideas de Anselin (Ilustración 1), se puede elegir un modelo de econometría espacial óptimo a las variables analizadas dependiendo de los resultados de las pruebas de LM-lag, LM-Error y SARMA. Siendo estos los posibles escenarios:

- Si ninguna de las pruebas de LM-Lag y LM-Error tanto la normal como la robusta, se obtiene un p-value menor a 0.05 se sugiere que se mantenga el modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) que es el que no cuenta con efectos espaciales.

- Si una de las pruebas tanto LM-lag y LM-Error ya sea normal o la robusta resulta significativa, la recomendación es estimar los modelos ya sea de rezago o error espacial.
- Si la prueba normal y robusta es significativa solo para LM-Lag o LM-Error, utilizar el modelo ya sea de rezago o de error espacial.
- Si las pruebas normal y robusta son significativas para LM-Lag y LM-Error, entonces se recomienda utilizar el modelo SARAR que incluye los dos efectos.

Una vez se ha probado la significancia de los modelos y realizada la elección del modelo idóneo que se requiere para analizar los datos espaciales a profundidad, los resultados del análisis del modelo se vuelven ricos en información sobre la tendencia a la configuración de homogeneidades, regiones y desigualdad o heterogeneidad entre las unidades de análisis espacial, así como su dinámica explicativa de sus relaciones funcionales.

Al utilizar modelos de regresión espacial se explota la complicada estructura de dependencia entre las observaciones que representa la economía mundial, sus regiones, los países y sus regiones subnacionales como las entidades federativas y sus municipios e incluso hasta las colonias y Áreas Geográficas Básicas, entre otras, por ello las estimaciones de los parámetros tienen una gran cantidad de información sobre la relación de las observaciones.

El modelo resultante permite estimar distintos tipos de impactos que miden la capacidad de respuesta en la dinámica de una unidad espacial de análisis respecto al movimiento o variación de la misma u otras variables en unidades espaciales colindantes, es decir que permite estimar los impactos directos, indirectos y totales que presenta una unidad respecto a la variación en otras, sean de la misma naturaleza o no, permitiendo relacionar variables económicas, sociales, ambientales y políticas, entre otras como un solo sistema, enriqueciendo su capacidad de generación de conclusiones.

LeSage & Kelley Pace (2009, pág.34) señala que el cambio de una sola observación en una región determinada asociado con cualquier variable explicativa determinada afectará a la misma región generando un impacto directo y potencialmente afectará a todas las demás regiones indirectamente generando un impacto indirecto

Los impactos antes señalados se estiman de la siguiente manera:

- 1) El Impacto directo promedio: Impacto total promedio (ADI) de un cambio en “Xi” sobre “Yi” (ecuación 4):

$$ADI = n^{-1}tr(S) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{\partial E(y_i)}{\partial x_i} \quad (4)$$

- 2) Impacto Total promedio (ecuación 5):

$$ATI = n^{-1}i^T Si = n^{-1} \sum_{i=1}^n ATIT_i = n^{-1} \sum_{i=1}^n ATIF_j \quad (5)$$

Resume dos medias:

- a. Impactos totales promedio a una observación: Medida relacionada con el impacto producido en una única observación por todas las otras observaciones (suma de la i-ésima fila de la matriz S) (ecuación 6).

$$ATIF_i = n^{-1} \sum_{j=1}^n s_{ij} = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{\partial E(y_i)}{\partial X_j} \quad (6)$$

- b. Impacto Total promedio de una observación: Medida relacionada con el impacto producido por una única observación sobre todas las demás observaciones. (suma de la j-ésima fila de la matriz S) (ecuación 7).

$$ATIF_j = n^{-1} \sum_{i=1}^n s_{ij} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{\partial E(y_i)}{\partial X_j} \quad (7)$$

- 3) Impacto Indirecto promedio: Diferencia entre impactos totales y directos (ecuación 8)

$$AII = ATI - ADI \quad (8)$$

Conclusiones y propuestas

La investigación económica se encuentra frente a una encrucijada que requiere una renovación urgente de sus paradigmas rectores, tanto como de las teorías, metodologías, técnicas y herramientas de las que se apoya para desarrollar sus análisis, pues de ello depende el asertividad en la generación de políticas económicas, sociales, e incluso ambientales que garanticen la viabilidad de largo plazo de la sociedad.

Los enfoques neoclásico y keynesiano que han cimentado la política económica mundial, las directrices de la autorregulación de los mercados y las líneas de promoción del desarrollo económico a través de la labor impulsora del Estado resultan insuficientes para profundizar en la complejidad de la heterogeneidad y diversidad de las condiciones de los espacios subnacionales, regionales y locales.

Las herramientas matemáticas, econométricas y los modelos de análisis tradicional que han acompañado a estas perspectivas del análisis económico nunca se enfocaron en explicar dicha diversidad, contradicción y dinámica espacial que se produce por la diversidad misma de las condiciones heterogéneas del espacio mundial y mucho menos, en la complejidad de la transformación de los espacios por las mismas necesidades de reproducción del capital.

Si bien se han desarrollado distintas corrientes de pensamiento económico que han procurado centrarse en el desarrollo regional como su prioridad, estos tampoco han encontrado una sola visión ampliamente aceptada, pues todas ellas buscan explicar los fenómenos desde su propia perspectiva e interés en el análisis, llegando incluso a contradecirse entre ellas en temas tan relevantes como la tendencia del sistema a la convergencia o la divergencia estructural del espacio económico.

El debate es amplio y se ha revitalizado con la coyuntura económica actual, pues convergen distintas condiciones promotoras del cuestionamiento al paradigma actual.

Por un lado, el progreso de la ciencia y la tecnología, sobre todo, de aquella que se encuentra asociada a la generación de fuentes de información y el alcance en el procesamiento de datos, han facilitado la socialización de un conocimiento complejo, en donde el acceso a bases de datos con información georreferenciada de carácter multidisciplinario facilita la producción de nuevos conocimientos facultados para producirse desde un enfoque interdisciplinario, e incluso transdisciplinar.

A la par, el progreso acelerado de la pandemia de COVID-19 durante los años recientes, ha mostrado el valor y la necesidad de integrar las herramientas modernas de análisis espacial a la toma de decisiones estratégicas para la sociedad, donde los sistemas de información geográfico, los indicadores económicos, sociales, ambientales y de salud pública puedan ser analizados e interpretados en el contexto único de sus condiciones espaciales para generar políticas eficientes y efectivas, acordes a sus propias necesidades como espacios económicos dinámicos y de las necesidades del bienestar para sus habitantes y su convivencia con el entorno.

En este contexto, la configuración de la Econometría Espacial y su encuadre metodológico de técnicas y herramientas matemático-estadísticas permite la creación de nuevas perspectivas de análisis y teorías fundamentadas, ahora, en la priorización de la reflexión informada sobre la heterogeneidad y complejidad del espacio y sus relaciones funcionales.

Es responsabilidad del economista y el científico social en general, el desarrollar nuevo conocimiento y sobre todo difundirlo, para que más profesionistas puedan crear nuevas ideas, integrando los elementos de punta que le pueden apoyar para renovar su análisis en vez de permitirles caer en viejos vicios del pensamiento simplista que ya han sido vulnerados por su incapacidad para abarcar todos los aspectos de la realidad económica.

Ninguna teoría ni herramienta es perfecta, no obstante, aquí se ha buscado difundir la oportunidad que representa la implementación del análisis econométrico espacial para robustecer el análisis de la heterogeneidad regional, el análisis de la complejidad en la transformación del espacio, lo cual permitirá llenar algunos huecos que han sido dejados abiertos al no tener herramientas de carácter práctico para demostrar hipótesis de comportamiento espacial.

Resulta recomendable que el investigador y el hacedor de política implemente un análisis exploratorio de datos espaciales antes de intentar siquiera dictar estrategias y planeas de acción, para verificar si las condiciones naturales del espacio y sus relaciones funcionales con el entorno y sus distintos vínculos pueden generar los resultados que se esperarían desde un enfoque más general.

La construcción del análisis de la interacción y la estructura espacial a partir del análisis de la heterogeneidad y autocorrelación espacial, en conjunto con la evaluación de los índices de moran y la evaluación de autocorrelación positiva y negativa, permiten actualmente construir razonamientos que explican la complejidad del espacio, la conformación de regiones y su desenvolvimiento, mientras que la evaluación de los diversos modelos espaciales permiten encontrar la naturaleza y magnitud de los impactos que generan las diversas relaciones funcionales características de cada espacio y región en particular.

Hace falta promover en las instituciones educativas y los centros de investigación económica la reflexión y creación de investigaciones de frontera, no solo en la discusión teórica del pensamiento dominante, sino en nuevos caminos y con nuevas herramientas que obedezcan a las necesidades cambiantes de la realidad económica, como son los que se pueden formular desde la ocupación intensiva del encuadre metodológico de la econometría espacial.

Referencias

- Altvater, Elmar.** (2001, diciembre). *Time and space of urban agglomeration*. Belo Horizonte, Brasil. Conference Urbanization and Environment
- Anselin, L.** (2001). *Spatial Econometrics*. In B. H. Baltagi, A Companion to Theoretical Econometrics. Blackwell Publishing.
- Anselin, L.** (2005, marzo 06). *Center for Spatially Integrated Social Science*. Recuperado de: Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook: <https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/fspat/geodaworkbook.pdf>
- ArcGIS.** (2022, 07 23). *ArcGIS Desktop*. Recuperado de: ArcGIS Desktop: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>
- Castells, Manuel,** (1973). *Problemas de investigación en sociología urbana*. Siglo XXI, España
- Castells, Manuel.** (1997). *Local y global*. La gestión de las ciudades en la era de la información, Ed. Taurus, España.
- Castells, Manuel,** (1974). *La cuestión urbana*. Siglo XXI, España
- Chasco Yrigoven, C.** (2003). *métodos gráficos del análisis exploratorio de datos espaciales*. Universidad Autónoma de Madrid, 1-26.
- Chasco Yrigoyen, C.** (2004). *Modelos de heterogeneidad espacial*. RePEc, 1-16.
- CRAN.** (2022, 07 25). *The Comprehensive R Archive Network*. Recuperado de The Comprehensive R Archive Network: <https://cran.r-project.org/web/packages/spdep/index.html>
- E. Hansen, B.** (2022, 07 07). University of Wisconsin-Madison. Recuperado de: University of Wisconsin-Madison: <https://www.ssc.wisc.edu/~bhansen/econometrics/Econometrics.pdf>
- Engels, Federico** (1961) *Dialéctica de la naturaleza*, Colección de ciencias económicas y sociales, Editorial Grijalbo México
- GeoDa.** (2022, 07 25). *GeoDa*. Recuperado de: GeoDa: <https://geodacenter.github.io/>
- Georgescu-Roegen, N.** (1971). *Entropy law and the economic process*. Cambridge, Harvard University Press
- González Arrieta, Luis Ricardo** (2022) *Reinterpretación de la crisis económica desde el enfoque keynesiano: el caso del SARSCOV-2 en Estados Unidos, 2020*, disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2022/junio/0826586/Index.html>
- Gujarati, D., & Porter, D.** (2010). *econometría*. CDMX: McGRAW-HILL.
- Harvey, David** (2007) *Espacios del capital: hacia una geografía crítica*, Madrid, editorial AKAL
- Harvey, David** (2012) *El enigma del capital y la crisis del capitalismo*, Akal, Madrid.
- Hidalgo Bucheli, G.** (2019). Uso del Índice de Moran y Lisa para explicar el ausentismo electoral rural en Ecuador. *Revista Geográfica*, 91-108.

- Leef, Enrique** (2004) *Racionalidad ambiental: la reapropiación social de la naturaleza*, Editorial Siglo XXI, México
- Lefebvre, Henri.** (1983) *La revolución urbana*. Alianza Editorial, España.
- Lenin Vladimir Ilich** (1975) “El imperialismo, fase superior del capitalismo” en Lenin Vladimir Ilich, *Obras escogidas en doce tomos*, 1977, URSS, Editorial Progreso.
- LeSage, J., & Kelley Pace, R.** (2009). Introducción to Spatial Econometrics. Taylor & Francis Group, LLC. Recuperado de: *Introducción to Spatial Econometrics: http://enistat.lecture.ub.ac.id/files/2013/02/James_LeSage_Robert_Kelley_Pace-Introduction_to_Spatial_Econometrics_Statistics__A_Series_of_Textbooks_and_Monographs-Chapman_and_Hall_CRC2009.pdf*
- Lipietz, Alain.** (1979) *El capital y su espacio*. Siglo XXI, México.
- Lojkine, Jean** (1981) *El marxismo, el estado y la cuestión urbana*, México, Siglo XXI.
- Martínez Alier, Joan y Schlupmann, Klaus** (1992) *La ecología y la economía*, Madrid, Fondo de Cultura Económica.
- Moreno Serrano, R., & Vayá Valcarce, E.** (2002). Econometría espacial: nuevas técnicas para el análisis regional. Una aplicación a las regiones europeas. *Investigaciones Regionales*, 83-106.
- Pérez Pineda, J.** (2006). Econometría espacial y ciencia regional. *Investigación económica*, 129-160.
- Quintana Romero, L., & Ángel Mendoza, M.** (2016). *Econometría aplicada utilizando R*. CDMX: UNAM.
- Rivas Diaz, Jorge Pablo** (2017) *Análisis de los factores que condicionan la dinámica del sistema municipal en México, 1990-2013*, disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2017/noviembre/0767576/Index.html> [Abril, 2022].
- Robinson Joan** (1974) *Ensayos de economía poskeynesiana*, México Fondo de Cultura Económica
- Schumpeter, Joseph A.** (1957) *Teoría Del desenvolvimiento económico: una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico*. Fondo de Cultura Económica, México, 254 p.
- Topalov, Christian.** (1979) *La urbanización capitalista: algunos elementos para su análisis*, México, Ed. Edicol, 186 pp.
- Wallerstain, Immanuel** (2004) *Análisis de sistemas-mundo: una introducción*, siglo XXI editores, México, 135 p.
- Wallerstain, Immanuel, Samir Amin, Giovanni Arrigí y Andre Gunder Frank,** (1983) *Dinámica de la crisis global*. Ciudad de México: Siglo XXI Editores