



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN ECONOMÍA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN
ECONOMÍA URBANA Y REGIONAL

Un modelo de autómata celular para estudiar el cambio técnico desde un enfoque clásico en los municipios de México 1999-2009

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA:
JOSÉ ANTONIO HUITRÓN MENDOZA

TUTOR:
MARCOS VALDIVIA LÓPEZ
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES MULTIDISCIPLINARIAS

MÉXICO, D. F. NOVIEMBRE 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Agradezco por todo el apoyo para la realización de este trabajo a mi familia, a mi mamá, mi papá y mis hermanos (Moisés, Alberto, Jazmín, Berenice y Guadalupe), a mis sobrinos (Paco, Carlos, Jorge Esteban, Mireille, Jazmín, Isaura y Valeria), pues siempre me han impulsado a continuar aprendiendo y a ser una mejor persona día con día.

Dedico el trabajo a todos mis amigos, tanto a los que siguen en este camino, pero también a aquellos que ya no están, en especial a Jason Soto (Q.E.P.D.), pues siempre me han ofrecido su compañía y apoyo.

Un agradecimiento especial a mis compañeros de maestría con los que compartí muy buenos dos años de mi vida, Dulce, Jaime, Ángel, Rebeca, Ricardo e Iveth.

Agradezco de manera muy especial a Nelly Esmeralda por acompañarme de manera incondicional en este proyecto y por ayudarme en todo momento sin importar las circunstancias.

Agradezco a los profesores Marcos Valdivia, a Luis Quintana y Jorge Eduardo Isaac, pues desde que colaboro con ustedes siempre he contado con apoyo en el sentido académico, en trabajo, pero sobre todo porque me han brindado su amistad y consideración.

Agradezco encarecidamente a todas aquellas personas que sin saberlo hicieron posible que esto sucediera, a aquellas personas que trabajan día con día y que con su esfuerzo es posible que los que estudiamos posgrado en la universidad pública podamos contar con los fondos necesarios.

-- o --

AGRADEZCO EL APOYO FINANCIERO Y ACADÉMICO BRINDADO PARA LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO AL PROYECTO “UN MODELO COMPUTACIONAL DE INTERACCIÓN ESPACIAL PARA EXPLORAR EL CRECIMIENTO ECONÓMICO Y LAS EXTERNALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMATIVAS DE LAS ZONAS METROPOLITANAS DE LA REGIÓN CENTRO”. FINANCIAMIENTO: CONACYT-SEP

Índice general

Lista de Figuras.....	4
Lista de Tablas	6
Introducción	7
Capítulo 1. Elementos teóricos para el estudio del cambio técnico y el crecimiento regional	14
1. La idea del cambio técnico y el crecimiento regional	15
1.1 Difusión tecnológica y cambio tecnológico.....	17
2. Teorías del crecimiento local	18
2.1 Teorías convencionales	19
2.2 Teoría evolucionista	21
2.3 Teoría clásica del crecimiento	23
2.4 Investigación del crecimiento y el cambio técnico en un sentido clásico.....	26
3. Conocimiento compartido	30
Capítulo 2. Hechos estilizados, evaluación del cambio técnico en los municipios de México	34
1. Medición del cambio técnico	35
1.1 La pauta de cambio técnico	37
2. Evaluación del cambio técnico en los municipios de México	39
3. Heterogeneidad en la productividad laboral y del capital	47
4. Autocorrelación espacial en la productividad laboral y del capital	50
5. Análisis estadístico por tipos de cambio técnico	57
6. El cambio técnico en las ciudades	70
Capítulo 3. Modelo de autómatas celulares del cambio técnico	76
1. Los Modelos Basados en Agentes	77
2. El modelo.....	78
2.1 Capitales individuales y capital global.....	79
2.2 Vecindad y condiciones de racionalidad	80
2.3 Regla de transición	81
3. Resultados	83
3.1 Distribución de las variables simuladas.....	83
4. Patrones emergentes	85
5. Discusión	90
Conclusiones generales.....	92
Anexo Metodológico 1. Índice de Moran.....	95
Anexo Metodológico 2. Modelos Basados en Agentes.....	96
Referencias bibliográficas	102

Lista de Figuras

Figura 1. Pauta de cambio técnico	37
Figura 2. Cambios técnicos hipotéticos según cambios en x y ρ	38
Figura 3. Pautas de cambio técnico 1998-2003	41
Figura 4. Pautas de cambio técnico 2003-2008	42
Figura 5. Pautas de cambio técnico 1998-2008	43
Figura 6. Densidades kernel gaussianas para los municipios de México según productividad laboral (x)	49
Figura 7. Densidades kernel gaussianas para los municipios de México según productividad del capital (ρ)	49
Figura 8. Autocorrelación espacial de la productividad laboral (1998)	52
Figura 9. Autocorrelación espacial de la productividad laboral (2003)	52
Figura 10. Autocorrelación espacial de la productividad laboral (2008)	53
Figura 11. Autocorrelación espacial bivariada: productividad laboral vs productividad del capital (1998)	54
Figura 12. Autocorrelación espacial bivariada: productividad laboral vs productividad del capital (2003)	54
Figura 13. Autocorrelación espacial bivariada: productividad laboral vs productividad del capital (2008)	55
Figura 14. Curva de eficiencia agregada en México	57
Figura 15. Distribuciones Kernel de la productividad laboral asociadas al cambio técnico al modo de Marx 1999, 2004 y 2009	61
Figura 16. Distribuciones Kernel de la productividad del capital asociadas al cambio técnico al modo de Marx 1999, 2004 y 2009	63
Figura 17. Distribuciones Kernel de la productividad laboral asociadas al decaimiento 1999, 2004 y 2009	64
Figura 18. Distribuciones Kernel de la productividad del capital asociadas al decaimiento 1999, 2004 y 2009	65
Figura 19. Distribuciones Kernel de la productividad laboral asociadas al ahorro de capital y utilización de trabajo 1999, 2004 y 2009	66
Figura 20. Distribuciones Kernel de la productividad del capital asociadas al ahorro de capital y utilización de trabajo 1999, 2004 y 2009	67
Figura 21. Distribuciones Kernel de la productividad laboral asociadas a pautas en transición 1999, 2004 y 2009	68
Figura 22. Distribuciones Kernel de la productividad laboral asociadas a pautas en transición 1999, 2004 y 2009	69
Figura 23. Distribuciones Kernel de la productividad laboral 1999, 2004 y 2009 en los municipios metropolitanos	71
Figura 24. Distribuciones Kernel de la productividad del capital 1999, 2004 y 2009 en los municipios metropolitanos	72
Figura 25. Diagramas de dispersión de la productividad laboral y del capital en los municipios metropolitanos 1999, 2004 y 2009	73
Figura 26. Vecindario Moore de radio=1	80
Figura 27. Construcción <i>torus</i> en un modelo de autómatas celulares	81
Figura 28. Esquema UML de transición sobre las decisiones de cambio técnico de los capitales individuales	82
Figura 29. Gráficos de distribución kernel de las variables simuladas	84
Figura 30. Patrón emergente del trabajo total	85
Figura 31. Patrón emergente de la productividad laboral	86

Figura 32. Patrón emergente de la productividad del capital	87
Figura 33. Patrón emergente de la densidad de capital	88
Figura 34. Patrón emergente del capital fijo	89
Figura 35. Tendencia de la curva de eficiencia global de de la economía en crecimiento	89

Lista de Tablas

Tabla 1. El cambio técnico desde tres perspectivas teóricas	32
Tabla 2. Tipos de cambio técnico empíricos	44
Tabla 3. Número de municipios por tipo de pauta de cambio técnico y % de valor agregado industrial que aportan 1999, 2004 y 2009	45
Tabla 4. Estadística descriptiva de las variables empleadas para el cálculo de las curvas de eficiencia	47
Tabla 5. Convergencia sigma de la productividad laboral y productividad del capital	48
Tabla 6. Autocorrelación espacial de la productividad laboral y del capital	51
Tabla 7. Estadística descriptiva de la productividad laboral (χ) y del capital (ρ) según tipos de pauta 1999	58
Tabla 8. Estadística descriptiva de la productividad laboral (χ) y del capital (ρ) según tipos de pauta 2004	59
Tabla 9. Estadística descriptiva de la productividad laboral (χ) y del capital (ρ) según tipos de pauta 2009	60
Tabla 10. Representatividad de la industria de los 345 municipios metropolitanos	70
Tabla 11. Autocorrelación espacial de la productividad laboral y del capital para los municipios metropolitanos	74
Tabla 12. Construcción de las variables globales	79

Introducción

La actualidad de la Economía Regional y Urbana consiste en la comprensión de las inquietudes tradicionales de la economía como la producción, distribución y consumo, pero dando lugar dentro del análisis al contexto geográfico en el cual se desarrollan las actividades de las sociedades dado que ello influye en gran medida sobre el desempeño de las mismas. En su mayoría, la literatura económica, ya sea teórica o aplicada obvia la connotación espacial de los fenómenos, es decir, da por hecho que las actividades del ser humano transcurren en lugares específicos sin tomar en cuenta que ello determina diferencias cualitativas y cuantitativas en los procesos sociales entre ellos los económicos.

En el presente trabajo la propuesta es estudiar la dinámica del cambio tecnológico en los municipios de México con especial referencia a las actividades productivas¹, en un marco de análisis espacial. Ilustraremos cómo es que se asocian los ritmos y patrones de implementación de la ciencia y la técnica en la producción de tal suerte que sea posible entender el modo en que se genera una diferenciación en los niveles de acumulación de capital fijo y cómo este aspecto determina transformaciones en dos variables elementales: *la productividad laboral y la productividad del capital*, siendo que movimientos en estas son expresión directa de la influencia de cambios en las tecnologías empleadas en la producción.

En concreto, se plantea investigar la configuración geográfica de la estructura productiva del país a partir de la evaluación de los ritmos y pautas de transformación tecnológica en un marco de referencia de economía clásico-marxista. Analizar el problema desde esta perspectiva permite tener un esquema conceptual que permite tener un conocimiento a profundidad sobre la importancia de la interacción entre capitalistas individuales que, en un contexto de competencia tienden a acelerar o disminuir la dinámica de cambio técnico conforme a tendencias en los precios, el ciclo económico y la propia naturaleza de la estructura económica en los sectores y regiones en los que se localizan.

El progreso técnico, según Shaikh (1990), es un proceso socialmente intencionado, en donde el desarrollo de la maquinaria se convierte en el medio más relevante para la reducción de costos.

¹ La delimitación de las actividades productivas se hará sobre la base de la propuesta de Shaikh (1984), veremos como la distinción entre trabajo improductivo y productivo provee de una base sólida para evaluar la evolución tecnológica en términos de la medición real del fenómeno.

Cada empresa obtiene una recompensa cuando las mercancías que produce puedan venderse de manera más acelerada que la de sus competidores. A pesar de que se ha estudiado el carácter cambiante del fenómeno, se trata de un tema poco explorado si se piensa en la dinámica de implementación tecnológica como resultado de un proceso de interacción y retroalimentación entre un conjunto amplio de microsistemas [capitales individuales] en un ambiente geográfico explícito. *Estamos en presencia de un proceso que implica un nivel de complejidad en cuanto a la interacción local-espacial de unidades autónomas y heterogéneas, que deciden invertir en capital fijo y contratar mano de obra según las circunstancias cíclicas de la economía en un nivel regional y agregado.*

Lo anterior se asocia directamente al problema de la competencia, desde el punto de vista de la economía clásica (Smith, Ricardo) y sobre todo en la teoría económica de Marx el argumento básico, recordemos, es que los capitales tenderán a ubicarse en aquellos sectores con un nivel mayor de rentabilidad, la movilidad entre sectores puede entenderse en dos sentidos: 1) como movilidad geográfica y 2) como una conversión de procesos, la primera sugiere patrones de reconfiguración urbana y la segunda formas de concentración industrial que dependen de las condiciones de producción prevalcientes en una localización específica. Las dos se presentan en realidad como formas de acumulación, las cuales tienen un reflejo espacial-local.

La movilidad y localización de capital puede explicarse desde un enfoque conceptual inspirado en la economía clásica como lo sugieren Lëpalä y Desrochers (2010) que tanto en la teoría de la ventaja comparativa de David Ricardo como en la tesis de la división del trabajo de Smith existen las bases suficientes para sostener la hipótesis sobre la existencia de una especialización geográfica de las actividades económicas; añadiríamos al argumento que también era preocupación de Marx ese aspecto, cuando trata sobre la división del trabajo sostiene que esta se expresa como una *“división territorial del trabajo, que circunscribe determinadas ramas de producción a determinadas regiones del país.”* (Marx, 2001 [1867], T.I: 288)

Es lógico pensar que de acuerdo a la manera en que se distribuyen las distintas ramas de la producción en la geografía de un país, existirá una gama diferente de tecnologías operando, según el tipo de actividades que se desarrollen. Las ramas más avanzadas pueden tener un mayor grado de intensidad de capital, otras una intensidad media, otras por debajo de la media, etc., y justamente ese sería el tema de investigación que circunscribe la investigación: identificar y caracterizar la diversidad de tecnologías con que operan las actividades industriales en los

municipios del país, así como explicar los mecanismos que llevan a la existencia de cambios en las distintas estructuras productivas locales.

En este punto es necesario hablar del marco teórico de referencia que utilizaremos; consideramos que los elementos de análisis desarrollados por la economía política clásica tienen buen potencial explicativo para los fines de la investigación, reflexionar desde este punto de vista la problemática del cambio técnico provee de elementos sustanciales para caracterizar el modo en que se forma una amplia heterogeneidad de combinaciones técnicas en las distintas zonas del país. A un nivel de agregación de país autores como: Foley y Michl (1999), Foley y Marquetti (2000), Mendoza (2007) y Duménil y Lévy (2009), han realizado trabajos empíricos y han demostrado que es posible entender y caracterizar los cambios tecnológicos bajo un enfoque de economía clásica-marxista.

Si se considera lo anterior el primer elemento que hace viable y pertinente la investigación es que no hay una aplicación del modelo propuesto por los autores mencionados a un nivel de desagregación municipal y en especial para el caso de México.

Mencionamos que en los planteamientos de los economistas clásicos (Smith y Ricardo) y Marx, existía una preocupación por considerar la influencia que tiene la localización en la actividad económica y aunque la inquietud por reflexionar sobre este aspecto no sea explícita como en los desarrollos actuales, pensamos que revalorar las categorías construidas por estos autores para abordar el tema de la evolución tecnológica es por sí mismo otro argumento que justifica la investigación.

Uno de los trabajos más influyentes sobre la importancia de la localización de las actividades económicas es el de Paul Krugman (1993) en específico su modelo llamado de centro-periferia en donde se argumenta, bajo el supuesto de rendimientos crecientes a escala, que las actividades económicas tenderán a concentrarse debido a que por un lado las empresas siguen un patrón de circularidad, en el sentido de que estas se ubicarán en regiones donde el mercado sea extenso y que el mercado es justamente extenso porque hay más empresas, esta es en esencia, la tesis que está presente en los desarrollos de la Nueva Geografía Económica, lo relevante para nosotros es tomar en cuenta cómo se conceptualiza y estudia el aspecto del cambio técnico en este enfoque de tal suerte que podamos comparar las ventajas que ofrecería un enfoque clásico.

Desde el enfoque neoclásico –presente en la obra de Krugman– el crecimiento económico es resultado de elementos endógenos, siendo la tecnología uno de los más importantes y donde ésta es vista como la acumulación de conocimientos y *stocks* de capital humano, esta idea es formalizada en los trabajos de Romer (1986), Lucas (1988) y Barro (1991), de tal manera que si hablamos de crecimiento regional, este responde a una lógica de causación circular, en la que los encadenamientos hacia atrás y hacia delante de las empresas conducen a una aglomeración de actividades que se auto-refuerza progresivamente.

En contraste, desde la teoría clásica-marxista el crecimiento económico es entendido como el incremento progresivo del capital fijo, que atiende al proceso de acumulación, siendo la tecnología desde este enfoque la expresión de la elevación de la productividad laboral por causa de la aceleración, en términos de tiempo, de la actividad humana ligada a la producción, con esto de ninguna manera se niega el valor intrínseco que tienen los conocimientos incorporados en los procesos productivos, pero desde este enfoque el estudio del progreso técnico adquiere una connotación ligada a los elementos materiales que permiten el incremento del producto generado, siendo la principal diferencia con respecto al enfoque convencional el hecho de que los elementos endógenos que explicarían el crecimiento regional serían la reinversión de los recursos disponibles con el fin de incrementar el capital fijo disponible y con ello elevar la eficacia de la mano de obra.

Aunque debe reconocerse que en estudios modernos enfocados al análisis del cambio tecnológico y el rol que tiene el conocimiento en los procesos de crecimiento regionales la discusión es mucho más amplia (ver Antonelli, 2009). De hecho se hace un énfasis fuerte en el estudio del papel que tienen los mecanismos de cambio técnico en relación con efectos de difusión (económica y espacial) de la tecnología, interacción entre agentes y complejidad, en términos de esta investigación el análisis se acota en gran medida al estudio de la acumulación y su relación con la productividad laboral, que en sentido estricto podría afirmarse que engloba los procesos descritos. Un trabajo de mucho mayor alcance podría estudiar a detalle teórica y empíricamente tales efectos.

Entonces la relevancia de estudiar los cambios en la estructura tecnológica de los municipios del país partiendo de los conceptos de la economía política clásica, consiste en que permite caracterizar las variedades de tecnología y los mecanismos que conducen a la creación y destrucción continua de esa variedad a través de las industrias y las regiones.

Lo que en realidad marca la diferencia entre el enfoque neoclásico con respecto al de la economía política clásica es que este último permite valorar las divergencias en las condiciones de producción individuales como resultado de un proceso histórico de transformaciones en la tecnología, y que a decir de Foley y Michl (1999) pueden verse en dos sentidos: a través del descubrimiento de nuevos métodos de producción hasta el momento desconocidos, o a través de la adopción de métodos que han sido implementados en alguna otra economía, mientras que en la teoría ortodoxa las mejoras pueden darse de manera súbita, dado que si las mejoras se basan en la calificación laboral éstas podrían cambiar en cualquier momento dependiendo solo de la incorporación de trabajadores con un grado mayor de calificación a las actividades de producción.

El instrumento de análisis en el cual se sustenta la investigación es la llamada “curva de eficiencia” que por un lado evalúa el comportamiento de la productividad laboral y por el otro los cambios en la relación capital-producto, de esta manera y como veremos a profundidad, se trata de un enfoque que permite abordar empíricamente el fenómeno a partir de los sistemas de contabilidad disponibles inclusive a nivel censal.

Para plantear las preguntas de investigación partimos de una regularidad empírica hallada en los trabajos de Basu (2010) y de Marquetti (2002), según el trabajo empírico de estos autores el crecimiento económico en el capitalismo se halla explicado por una colección de técnicas diferentes que conviven entre sí de tal manera que las mejoras en la producción nunca se expresan en un sentido neutral, es decir, no hay evidencia de que la productividad laboral y la productividad del capital aumenten de manera simétrica para cualquier punto en el tiempo. Lo cual lleva a preguntarnos:

¿Cuáles son los mecanismos por los cuales las técnicas de producción se transforman y hacen que las mismas presenten variación en el espacio geográfico?

¿Cómo es la dinámica de los ritmos y pautas de cambio tecnológico presentes en las actividades productivas de los municipios de México?

A manera de hipótesis de investigación se afirma: *las decisiones de los capitales individuales responden en gran medida procesos de interacción espacial con otros capitales en un contexto de competencia, lo cual las incentiva a transformar sus procesos de producción mediante mejoras tecnológicas que les aseguren contar con niveles de productividad mayores, las transformaciones técnicas pueden variar geográficamente dependiendo de la estructura productiva de las regiones y*

de los niveles de rentabilidad asociados a las mismas, conservándose una amplia heterogeneidad que excluye la idea de convergencia neoclásica.

De forma tradicional la medición del crecimiento económico se hace con apego al criterio de las variaciones del producto bruto generado en un periodo dado, tal criterio ha sido bastante discutido, inclusive al interior de la visión ortodoxa de la economía. En contraste, dentro de la tradición *clásico-marxista*, la cuestión es muy clara, la expansión de la economía se evalúa con arreglo al criterio del incremento en la acumulación de capital fijo, que es expresión –aunque no de forma concluyente– de la implementación de nuevas tecnologías o métodos de organización de la producción los cuales hagan posible una expansión del producto, pues estos cambios generan incrementos en la productividad laboral. Si un proceso de producción logra ser más eficaz por la vía del incremento de capital fijo (que mejora los procesos productivos), ello es reflejo necesariamente de la integración de tecnología –conocimientos aplicados a la producción–, y aunque puede hacerse una subestimación de la *cantidad* de conocimientos nuevos integrados, dada la disponibilidad de información estadística para los contrastes empíricos resulta un buen acercamiento ver el fenómeno de esta manera.

Con la finalidad de evaluar el modo en el cual se lleva a cabo la interacción de diversas unidades productivas y cómo ello determina las pautas de cambio técnico, se propone construir un modelo de simulación computacional, basado en el autómata celular, en el cual hagamos operables las leyes económicas tendenciales propuestas dentro de la tradición *clásico-marxista* sobre la producción.

Supondremos un esquema de competencia en el cual las modificaciones en la tecnología de las empresas están en función de un nivel de rentabilidad potencialmente mayor. Las decisiones de inversión de los capitales están sujetas a la influencia de un *ambiente económico* determinado por las unidades productivas más cercanas, así el crecimiento de una región se halla explicado por la disposición que tengan los capitalistas individuales para acumular adoptando nuevas tecnologías, con la única finalidad de incrementar la eficacia con la que producen y de ese modo hacer crecer sus ganancias.

En principio proponemos generar un modelo inspirado en el autómata celular, en el cual podamos operacionalizar el fenómeno con base en las premisas de la teoría propuesta. Eso es con la finalidad de hacer un ejercicio de deducción e inducción sobre las condiciones bajo las cuales los

niveles de rentabilidad general oscilan en torno a un centro de gravedad –tasa media de ganancia–, que según nuestra visión se halla determinado por fluctuaciones constantes en la manera en que los distintos capitales participan en la producción agregada, Richard Goodwin (1967) sostenía que el progreso técnico se traduce primero en ganancias, la expansión podría permitir el aumento en la cuenta de salarios, lo cual haría que las ganancias disminuyeran, teniendo entonces un proceso dinámico de las variables distributivas siempre fuera de una senda de equilibrio.

Un trabajo enmarcado en esta tradición es el modelo Goodwin-Plummer, propuesto inclusive como parte de una metodología de economía política para el análisis regional (ver Plummer y Shepard 2007), en esta propuesta se considera a las economías compuestas como sistemas no lineales, en donde el centro de atención –teórico y analítico– se sugiere sea el estudio del comportamiento global en términos de la interacción entre elementos heterogéneos. Así mismo el marco referencial de análisis espacial incluye los siguientes argumentos de inspiración clásico-marxianos: movimientos interregionales de capital en respuesta a la presencia y persistencia de diferenciales de ganancias e imperfección en el desempeño de las economías a razón de la incapacidad de los capitalistas por cumplir de manera íntegra sus planes de producción, esta última razón está enlazada intrínsecamente a que la expansión o dinámica capitalista está sujeta a los movimientos cíclicos de la economía.

Si se considera válido el argumento de que el sistema económico es de carácter homeostático, es decir, que se autorregula en lo que concierne a una serie de tendencias en su funcionamiento, siendo la principal de ellas la lógica del crecimiento de la rentabilidad, entonces, hablamos de que la metodología propuesta nos permitirá analizar el fenómeno del cambio técnico mediante un tratamiento estadístico de la información obtenida. Las funciones de probabilidad que logremos asociar al fenómeno serán la prueba empírica de que la economía puede ser asumida desde la perspectiva de la auto organización.

Capítulo 1. Elementos teóricos para el estudio del cambio técnico y el crecimiento regional

1. La idea del cambio técnico y el crecimiento regional

En este trabajo se aborda el problema de la relación entre el cambio técnico y el crecimiento tanto desde el punto de vista regional como macroeconómico. Es usual encontrar en la literatura existente una discusión sobre la relación de estos dos fenómenos dejando de lado las implicaciones negativas que puede tener el desarrollo de la tecnología en la producción industrial en términos del empleo global de la economía y la formación de desigualdades regionales. Generalmente se considera que son más prosperas aquellas regiones o países con una alta industrialización, ello ocurre porque es justamente el sector industrial el que genera la riqueza distribuable en una sociedad, idea presente desde un punto de vista clásico. Desde esta perspectiva Smith (2010) y Marx (1971), cada uno con sus debidas precisiones, consideraron que para medir la productividad de una economía era importante tomar en cuenta la distinción entre el trabajo productivo e improductivo, este punto es importante para determinar los factores de los que depende el crecimiento económico.

Uno de los principales campos de investigación en la teoría económica es el crecimiento económico. Robert Solow es el precursor de la teoría moderna del crecimiento (neoclásica) y el cambio técnico (1956, 1957), la cual ha evolucionado hasta años recientes y es estudiada básicamente mediante una diversidad de modelos; la década de los ochenta puede considerarse como un punto de inflexión en el campo con el arribo de las llamadas teorías de crecimiento endógeno Romer (1986), Lucas (1988) y Uzawa (1965). Sin embargo, es hasta muy recientemente que la teoría de crecimiento neoclásica incursionó de manera efectiva en el campo de la economía regional y la geografía económica; por ejemplo, Barro y Sala-i-Martin (1992) a partir de la noción de convergencia y Krugman (1991) con el planteamiento de la Nueva Geografía Económica, con ello se dieron condiciones más adecuadas para entender por qué persisten desigualdades y heterogeneidad en el crecimiento entre las diversas regiones o países².

En su acepción más simple, el crecimiento económico se concibe como el aumento de la cantidad de bienes y servicios generados por una economía en un periodo determinado, y el cual

² En trabajos como el de Boldrin y Rustichini (1994), inclusive se introduce la idea de la no existencia de equilibrio en el horizonte infinito debido a la influencia de externalidades globales. Es probable que las oscilaciones se deban a cambios en la economía también inducidos por el ciclo económico, esto determina al interior de la escuela neoclásica un modo diferente de comprender el crecimiento además de los planteamientos espaciales.

es reflejado a través de los sistemas de contabilidad que miden el desempeño de una economía de manera trimestral y anual. En este sentido, la escuela neoclásica ha ocupado un lugar importante en el desarrollo de las teorías de crecimiento (à la Solow) para explicar las causas de la expansión del producto generado por una economía. Solow (1956, 1957) atribuye al cambio técnico un papel determinante para explicar el crecimiento económico; en particular, el crecimiento de una economía depende de una combinación técnica de trabajo y capital fijo y, en la eficiencia en el uso de estos factores. Por lo tanto, bajo esta perspectiva, cualquier tipo de mejora en capital fijo o en las habilidades de la mano de obra (que inciden en un aumento del producto), es considerado como cambio técnico y/o progreso técnico. En el modelo de Solow (1956), el cambio técnico es en sí una variable exógena y puede ser fácilmente medible de manera residual a partir de una técnica de regresión simple; cabe señalar, que éste ha sido el mecanismo usualmente adoptado en los estudios empíricos neoclásicos para tratar la relación entre crecimiento y cambio técnico. Sin embargo, es importante señalar que el supuesto de exogeneidad del cambio técnico ha sido replanteado en las teorías más recientes, en específico, el cambio técnico se ha endogeneizado en los modelos, dando pie a las teorías endógenas de crecimiento, por ejemplo, en los trabajos de Lucas (1988) y Romer (1986)

En referencia al campo de conocimiento de la geografía económica y/o la economía regional, todavía no se logra establecer una “teoría estándar” que explique propiamente el crecimiento a nivel regional-local. En un trabajo reciente, Capello y Nijkamp (2009) hacen una revisión exhaustiva sobre las intersecciones de las teorías de crecimiento y el campo de la economía regional y concluyen que bajo un esquema de globalización es necesario poner atención sobre las potencialidades de las economías locales como propulsores de competitividad con especial atención al tema del desarrollo tecnológico, siendo necesario definir claramente qué factores lo determinan (por ejemplo: el ambiente empresarial, incubadoras de empresas, transformaciones institucionales). Capello y Nijkamp sugieren que la teoría convencional del crecimiento económico (proveniente del análisis macroeconómico) no provee todavía una microfundamentación³ adecuada para tener una teoría de crecimiento regional robusta, esto es, una teoría donde estén claramente unidas las ideas de heterogeneidad tecnológica en las regiones y en un sentido de análisis local la teoría sea capaz de explicar procesos de interacción que tienen lugar en un espacio

³ Durlauf (1991) discute sobre las implicaciones de tener una microfundamentación adecuada para los modelos macro de crecimiento a partir del concepto de no-ergodicidad.

y tiempo determinados, así como las interdependencias entre los componentes de una economía a nivel regional.

1.1 Difusión tecnológica y cambio tecnológico

Como punto de partida en el planteamiento del marco referencial de la investigación es preciso hacer la distinción entre lo que implica la noción de difusión tecnológica y la noción de cambio tecnológico. La primera se refiere al conjunto de mecanismos y procesos mediante los cuales es posible explicar transformaciones en las condiciones técnicas de producción; dependiendo del enfoque teórico desde el cual se haga análisis del fenómeno se tiene un nivel de profundidad en la explicación de dichos mecanismos. Mientras que para la teoría neoclásica la difusión tecnológica puede considerarse como un proceso de *spillovers* o derramas de conocimiento (Frischmann, 2009), para la teoría schumpeteriana hay toda una idea sobre la difusión de la tecnología basada en la biología darwiniana (Andolfatto y MacDonald, 1998), en el enfoque clásico, sobre todo en Smith y Marx⁴, hay desarrollada una teoría de la acumulación de capital fijo explicada por una creciente e histórica tendencia socialmente inducida a la mecanización esto implicaría la existencia de vías de transmisión y/o difusión de nuevas tecnologías materializadas en máquinas y sus respectivos cambios en la organización del proceso de trabajo.

Los procesos de difusión de la tecnología son explicados principalmente por la existencia en la economía de un departamento productor de bienes de capital (en el cual ocurren mejoras paulatinas de la maquinaria), así como la existencia de un esquema de competencia entre los capitalistas individuales en donde cada uno busca mejorar sus procesos productivos con el objetivo de tener mejores condiciones para la realización de los bienes producidos.

El segundo concepto, el de cambio técnico, tiene que ver con la *adopción* de nuevas técnicas de producción, esto es, ocurre un cambio técnico cuando los procesos de difusión descritos se han materializado en un nuevo proceso productivo determinado. Independientemente de cómo sea entendida la difusión de la tecnología: como una derrama, como la evolución de un sistema orgánico o como un proceso socialmente inducido: el cambio técnico es justamente la expresión

⁴ Cuando Marx trata el tema sobre la relación entre *maquinaria* y *gran industria* explica una tendencia en la producción a sustituir tareas manuales por procesos mecanizados los cuales inciden directamente en la elevación de la productividad laboral. En esa parte también habla de un proceso de *generalización* de esas nuevas técnicas de producción en las ramas de la economía y aunque no desarrolla a detalle los pasos de esa generalización, en sentido estricto se refiere a la existencia de mecanismos de difusión tecnológica.

final de tales procesos. Supongamos una tecnología A que con cantidades de capital y trabajo genera un nivel X de producción en una empresa en un lapso de un año y que se ha generado una mejoría en una máquina involucrada en su proceso de producción por medio de una investigación en el departamento dedicado a producir los bienes de capital empleados por la primera. Entonces mediante la compra de esa nueva máquina ahora puede ahorrar una cantidad de trabajadores y en comparación con la técnica A, esta nueva técnica B genera un nuevo nivel de producción $X + \Delta$, el incremento (Δ) está explicado por la adopción de una nueva combinación técnica que permite producir en el mismo tiempo de operación (un año) una cantidad mayor de bienes a la empresa en cuestión.

En el ejemplo anterior se puede ver que el proceso de difusión de la tecnología ocurrió por medio de *la compra* de un nuevo bien de capital que permite mejorar las condiciones de producción en una empresa, así con menos trabajadores puede incluso incrementar su producción en un periodo de tiempo similar, de otro lado el cambio tecnológico se entiende como la comparación entre la técnica A y la B. Entonces la difusión tecnológica se comprende como todos aquellos procesos mediante los cuales sea posible *transmitir* mejoras en los procesos de producción y el cambio tecnológico se expresa en la *utilización* de dichas mejoras.

Las implicaciones espaciales-geográficas de estos procesos no son tan sencillas, si se tiene en cuenta la existencia de lugares en donde prevalecen fuerzas concentradoras de la producción tal como lo explica Marshall (1920) cuando desarrolla el concepto de *distrito industrial* y ya en trabajos más recientes como el de Krugman (1992) en donde explica las causas de la concentración industrial; el referente teórico aquí consiste en afirmar que los procesos de difusión y cambio tecnológico están localizados y se expresan con mayor intensidad en esos espacios concentradores de la producción en comparación con aquellos en donde están presentes en mayor grado fuerzas que inciden en la dispersión de la actividad económica; aunque las causas de concentración o dispersión pueden ser mucho más complejas de explicar en los trabajos referidos está una muy buena aproximación al problema y son un referente para el estudio de la concentración industrial en el espacio.

2. Teorías del crecimiento local

A continuación se describen los distintos enfoques teóricos del crecimiento (no sólo los neoclásicos) que han abordado el tema del crecimiento económico local y el cambio técnico.

Como mencionamos arriba, una de las preocupaciones centrales es revertir el supuesto de exogeneidad del cambio técnico tal como es preestablecido en la tradición teórico-empírica a la Solow. Desde la perspectiva neoclásica se han hecho varios aportes, en donde se reorienta el sentido del cambio técnico como una serie de mejoras que están asociadas especialmente al capital humano de una economía, esto es, a un acervo de conocimientos que son útiles para mejorar paulatinamente la forma en que se produce y elevar así la productividad de los factores. La versión ampliada del modelo de Solow, desarrollada por Mankiw, Romer y Weil (1992) (conocida como modelo MRW) considera que una combinación técnica está compuesta de tres elementos, a saber: el capital físico, el trabajo y el capital humano, siendo este último elemento un conjunto de capacidades, competencias y conocimientos de los trabajadores individuales. La crítica al modelo vendría nuevamente por el lado de la medición ¿Cómo sería posible medir los atributos mencionados de los trabajadores?

2.1 Teorías convencionales

Capello y Nijkamp (2009) señalan que la importancia de la teoría del crecimiento regional y la distribución tienen ya una larga trayectoria porque desde Adam Smith y Alfred Marshall existió una preocupación por explicar estos temas. Es a partir de las visiones de lo que llaman *un mundo neoclásico*, con los planteamientos de Solow en 1956 y algunos otros autores de esa corriente teórica que se avivó una interesante discusión en cuanto a los mecanismos de igualación en las condiciones económicas entre regiones ricas y regiones pobres. Bajo este esquema de análisis las regiones son entendidas como microsistemas.

En el ámbito de los modelos regionales, Gardiner, Ron Martin y Tyler (2011), sostienen la tesis de que la política regional puede contribuir a incrementar las dotaciones de capital humano en una región y de esta manera inducir el progreso técnico en la misma, mediante este mecanismo es más factible lograr un desempeño económico favorable inclusive a nivel macroeconómico⁵. La premisa de la que parten en su investigación está circunscrita en el marco de análisis de la Nueva Geografía Económica (NGE), consistente en afirmar que las aglomeraciones implican el crecimiento de la productividad, así desde una perspectiva de política económica el hecho de

⁵ De hecho en el mismo trabajo argumentan que es imprescindible el desarrollo de política regional en ese sentido y sostienen que las políticas macro son en gran medida insuficientes y en ocasiones causan cuellos de botella para la generación de empleo.

promover concentraciones geográficas de la producción es una alternativa para reducir las desigualdades e incentivar el cambio tecnológico y el crecimiento a nivel regional.

Otro estudio, el de Fingleton y López-Bazo (2006), investigan cómo es posible modelar el crecimiento económico regional de largo plazo considerando efectos de tipo espacial en las economías. Asumiendo un concepto de cambio técnico muy simple que consiste básicamente en cambios en las proporciones en las que se combina el capital fijo y el *capital humano*. A partir de la implementación de técnicas de econometría espacial evalúan una ecuación de convergencia basándose en la ley de Verdoorn⁶. Concluyen que el fundamento del crecimiento económico regional es la existencia de externalidades pecuniarias y tecnológicas, además de que mediante procesos de interacción local es posible hacer crecer el acervo de capital humano y con ello mejorar las técnicas de producción.

Keller (2002), aborda la cuestión de si el progreso técnico debe ser tratado como un proceso global o un proceso local. Bajo este esquema, el cambio técnico tiene lugar bajo un mecanismo de *spillovers* mediante el cual se transmite el conocimiento de manera local y no global⁷. A decir de Keller entre mayor sea la distancia entre las unidades espaciales de observación los efectos de difusión van perdiendo importancia, entonces las mejoras en la tecnología presentan una tendencia a incrementarse cuando existe cercanía entre empresas o concentraciones de estas. La manera mediante la cual Keller evalúa los procesos de difusión que inducen el cambio técnico es por medio de la aplicación de un modelo con datos de corte transversal en donde el espacio solo está capturado mediante una variable de distancia entre las unidades de observación, a pesar de la sencillez del modelo, concluye que hay una relevancia en cuanto a los efectos locales (de cercanía) entre las empresas para que el cambio tecnológico pueda ocurrir, esto es, los mecanismos de transmisión de las mejoras tecnológicas no tienen una connotación macro.

⁶ Esta ley establece una relación estadística estrecha entre el crecimiento de la productividad del trabajo y el producto, sobre todo en la producción de manufacturas. Cabe señalar que este tipo de modelos han sido criticados frecuentemente a razón de la naturaleza colineal de las variables que relacionan.

⁷ Los modelos de autómatas celulares y/o los modelos basados en agentes son idóneos para tratar el tema del cambio técnico y el crecimiento, pues justamente cubren el objetivo de modelar las interacciones producidas a nivel local lo cual hace posible diseñar sistemas con una cantidad considerable de unidades individuales de análisis cuyo estado depende exclusivamente del estado de sus unidades vecinas y los cambios en el estado de las mismas depende de cómo intercambian información entre sí, en el capítulo 3 de esta investigación se propone un modelo de esta naturaleza para evaluar el cambio tecnológico en los municipios de México.

Ertur y Koch (2007) mediante un modelo de crecimiento espacial de capital humano (se trata en sí de una versión espacial del modelo Mankiw-Romer-Weill), bajo la hipótesis de que existen efectos espaciales-locales en la difusión del progreso tecnológico y, que por ello existe una tendencia a que los conocimientos se concentren en economías locales; a través de técnicas de econometría espacial encuentran que en mayor o menor grado existe un nivel de interdependencia tecnológica entre las economías, los efectos son mucho mayores cuando es mayor la cercanía entre cada una de ellas, además argumentan que la acumulación de conocimiento (acervo de capital humano), es crucial en el crecimiento económico local. En general, los hallazgos desde la perspectiva neoclásica indican que el efecto del progreso técnico sobre el crecimiento se da esencialmente de manera local.

Las teorías neoclásicas sobre el crecimiento y el cambio tecnológico, tanto a nivel macroeconómico como regional tienen un alto grado de aceptación como marco conceptual de referencia. Son muchos los estudios donde toman como base las premisas mencionadas en los trabajos comentadas en esta sección; los estudios llegan, en síntesis, a la conclusión de que es necesario tener una combinación de economías de localización con un acervo creciente de conocimientos (capital humano), de tal suerte que el crecimiento y el desarrollo tecnológico depende de las relaciones que se establecen entre un conjunto amplio de empresas que tienen principalmente: 1) cercanía geográfica y 2) cercanía económica⁸ -estos son eslabonamientos hacia atrás y adelante- aunque el argumento de las teorías convencionales recae especialmente en la primera razón.

2.2 Teoría evolucionista

Otra de las teorías que ha tenido una incursión importante en el tratamiento del cambio técnico es la teoría evolucionista. Uno de los trabajos más representativos desde esta perspectiva es el de Nelson y Winter (1982), en donde plantean un marco de análisis sobre cómo entender el cambio tecnológico en la economía desde el punto de vista evolutivo, basándose en tres conceptos:

⁸ Este concepto de *cercanía económica*, implica que para que ocurran efectos de mejoras tecnológicas no necesariamente debe existir proximidad geográfica de las empresas, entonces, la cercanía económica sería una relación estrecha entre industrias o empresas vinculadas por motivos como: la compra y venta de insumos, lo cual requiere de la existencia de una congruencia tecnológica entre las mismas con el objetivo de hacer más ágiles los procesos productivos entre las mismas, además esta cercanía económica implicaría que cualquier mejora en la productividad de una empresa que abastece a otras generaría efectos positivos en la producción de empresas relacionadas, en términos de externalidades.

variación, selección y retención, su análisis ofrece una alternativa a la teoría estándar neoclásica para la comprensión del crecimiento y el cambio tecnológico.

En trabajos de este corte teórico donde está involucrado el análisis del espacio están por ejemplo el de Rigby y Essletzbichler (2006) en este parten de la tesis sobre la existencia de una amplia variabilidad de técnicas de producción (explicadas por grados en el proceso de evolución tecnológica), estas pueden ser entendidas no sólo desde el punto de vista del comportamiento de las empresas sino también de sus contexto espacial, por esta razón distintos niveles de tecnología pueden ser explicados desde el punto de vista evolutivo por medio de las condiciones impuestas por el *entorno* geográfico en el cual se desenvuelven. El concepto de cambio técnico en el cual sustentan su investigación es simple, para ellos las técnicas de producción pueden diferenciarse porque existe para cada empresa de la geografía una combinación específica de mano de obra y capital fijo y por ende para cada región ocurre lo mismo. Así cualquier tipo de mejora puede ser medida en términos de coeficientes en los cuales se atribuye más relevancia a uno u otro componente de la producción.

Empíricamente Rigby y Essletzbichler prueban un modelo evolutivo a partir de un análisis estadístico para algunos sectores productivos de Estados Unidos, llegan a la conclusión de que *no puede existir una tendencia sistemática a la convergencia tecnológica porque inclusive al interior de las plantas hay diferencias, relacionadas con la edad del capital fijo empleado para producir y su combinación con la fuerza de trabajo*. Añaden a sus conclusiones que la teoría neoclásica y la evolutiva muestran diferencias sustanciales en su comprensión del cambio técnico, esto se debe a que dentro de los modelos de corte evolutivo es posible integrar de manera más sencilla la heterogeneidad entre los agentes pues no se parte de supuestos tan restrictivos en contraste con los modelos donde está como base la noción de convergencia.

En el artículo de Hautsch y Klotz (2003), al investigar si existe algún tipo de correlación entre la toma de decisiones de diversos agentes económicos y con el objetivo de demostrar que el entorno espacial determina la difusión más o menos acelerada de los conocimientos tecnológicos, es bajo un concepto de cambio técnico entendido como un *proceso de difusión* basado en la idea de que los gerentes o encargados de organizar la producción toman en cuenta, ante todo, la información que está en el ambiente empresarial (lo cual implica cercanía geográfica y/o económica), y así construyen el argumento de que la decisiones empresariales sobre el cambio de tecnología dependen de la interacción entre distintas personas que se hayan enfrentado a situaciones

similares cuando resuelven problemas en el proceso de producción; en su estudio aplican técnicas de simulación de Monte Carlo y econometría para el caso de la economía alemana, encuentran que existe una tendencia social a resolver problemas de manera similar, es decir, el cambio técnico es en sí un proceso de transmisión de información el cual depende fuertemente de la interacción entre agentes involucrados en la dirección de procesos productivos; finalmente muestran que la probabilidad de innovación sobre un producto está influenciada significativamente por un contexto espacial, entre mayor sea el contacto entre los agentes mayor y más acelerado será el cambio técnico en los sectores industriales.

Una investigación de Iwai (2000), que parte de la pregunta de si es posible modelar el comportamiento de los empresarios desde un enfoque distinto al esquema neoclásico de racionalidad. Prueba la hipótesis de que los moldeos evolutivos son una herramienta poderosa que permite capturar la dinámica de innovación y comportamiento de las empresas individuales y a partir de ello es posible caracterizar el comportamiento de la economía como agregado, su concepción del progreso técnico se apega al esquema schumpeteriano de adaptación y a partir de un modelo dinámico concluye que es posible utilizar modelos evolutivos para analizar el desarrollo de la estructura industrial. Entonces el progreso técnico es para él un proceso dinámico que surge de complejas interacciones entre innovaciones, imitación y las inversiones que los empresarios realizan en su constante lucha por sobrevivir y crecer, de esa forma a nivel macro una economía eficaz será aquella en la cual sus empresas tengan una conducta de innovación, cabe señalar que esta conclusión es un buen acercamiento al asunto de cómo el desempeño local es determinante en los resultados macroeconómicos.

2.3 Teoría clásica del crecimiento

En el apartado 1 veíamos que la teoría neoclásica ha tenido una presencia relevante en la agenda de investigación sobre la explicación del crecimiento y el cambio técnico. Esta influencia se ha hecho extensiva al campo de la economía regional y urbana junto con sus variantes en términos de la comprensión del progreso técnico como un elemento endógeno en las economías. Las conclusiones a las que llegan los estudios abordados enmarcados en una perspectiva regional coinciden en la idea de que la cercanía geográfica es determinante además de los procesos de interacción entre las unidades de análisis (empresas, regiones e inclusive entre países).

De otro lado, la agenda de investigación evolucionista es mucho más amplia. Al no partir de un esquema axiomático tan restrictivo como el neoclásico pueden observar algunas otras características tales como el comportamiento individual de agentes heterogéneos y cómo es que a partir de interacciones entre trabajadores, empresas y hasta unidades geográficas se generan efectos los cuales contribuyen a la generación de las condiciones que facilitan o inducen cambios en la tecnología⁹, todo ello desde su perspectiva surte efectos sobre el desempeño de las economías y por ende en su dinámica de crecimiento.

Ante estas dos posibilidades teóricas de explicación y análisis de los fundamentos del progreso técnico y el crecimiento económico macro y regional ¿Qué alternativa de estudio podría plantearse? Una teoría poco valorada pero no por ello poco desarrollada proviene de los planteamientos de Adam Smith, David Ricardo y Marx¹⁰, siendo este último el que tiene una hipótesis más robusta a cerca del cambio técnico y el crecimiento. Si hablamos de una teoría clásica del crecimiento la acumulación de capital está en el centro de las cosas, esto es, la acumulación es el motor que mueve el crecimiento bajo el esquema de producción capitalista (Harvey, 2007). ¿Qué implica la acumulación de capital en referencia al cambio técnico? Es justamente una tendencia a la mecanización de las tareas productivas con la intención de inducir una elevación en la productividad laboral que a fin de cuentas genera el crecimiento del producto global de una economía.

En los desarrollo de la economía política aplicada a la geografía están los trabajos de Eric Sheppard (2011) y Paul Plummer (1999), donde revaloran los hallazgos hechos desde la economía política para reconsiderar la idea del equilibrio económico en presencia de heterogeneidad regional. Ellos consideran que la economía enfrenta procesos persistentes de desequilibrio y que esto es normal y debe tomarse como una característica emergente (macro) que sucede en el espacio y el tiempo.

La economía política regional demuestra que hay especificidades espaciales que generan incertidumbre y consecuencias no pronosticables, a diferencia de los esquemas convencionales de análisis, donde el pronóstico sobre el comportamiento de las variables tiene una atención central.

⁹ En la perspectiva evolucionista la tecnología es evaluada desde dos puntos de vista: a) mejoras en los procesos productivos y 2) mejoras o innovaciones en los productos.

¹⁰ Leppälää y Desrochers (2010) hacen una buena valoración sobre las categorías de los economistas clásicos a cerca del cambio técnico e inclusive extienden sus reflexiones a las ideas que ellos tenían sobre la localización de la actividad económica.

Las diferencias principales con la teoría desarrollada en la geografía económica son tres: a) las teorías de la NGE no se deducen de la naturaleza del capitalismo sino de los modelos, b) el lenguaje de la economía política es típicamente no matemático aunque no por ello menos válido y c) los métodos de análisis críticos suelen ser más cualitativos que cuantitativos (aunque en la presente investigación se verá cómo puede implementarse un análisis cuantitativo desde el enfoque crítico).

Desde la economía política regional se han explorado los fundamentos que explican la desigualdad regional, el primero es la acumulación de capital (expresión del desarrollo tecnológico) y la existencia de territorios mejor posicionados que otros o al menos la prevalencia de varias alternativas de desarrollo dependiendo de la estructura productiva de cada espacio.

Una crítica fuerte a las visiones convencionales está en el planteamiento de Sheppard (2011), donde argumenta que no es válida la idea de que el camino que siguieron las regiones prósperas debe ser implementada como receta por las regiones menos favorecidas, pues el desarrollo espacial del capitalismo no es un camino al éxito sino una combinación compleja de relaciones entre capitales individuales y de la estructura social de cada lugar.

Finalmente, en la perspectiva de Plummer (1999) se trata de hacer una conciliación entre las visiones convencional y crítica de la economía regional, argumenta que si bien desde el punto de vista crítico se hace énfasis en las fuerzas desequilibrantes en la determinación de la dinámica de largo plazo de las economías en el espacio, el estudio desde esta perspectiva es valioso pues considera dos cosas ignoradas en los estudios ortodoxos, a saber: los procesos regionales de reestructuración económica y la acumulación de capital a nivel regional como fuente primordial del desequilibrio.

Es importante retomar estos argumentos antes del desarrollo del modelo base para el análisis empírico en esta investigación porque a decir de Plummer una manera de establecer diálogo entre las teorías es acercando por un lado los modelos críticos a una expresión matemática para hacerlos familiares a los esquemas de análisis neoclásicos, argumento con el cual estamos parcialmente de acuerdo pues siempre las conclusiones extraíbles difieren en términos de la base teórica empleada.

2.4 Investigación del crecimiento y el cambio técnico en un sentido clásico

Bajo los supuestos mencionados al final del apartado anterior se ha estudiado el crecimiento económico de largo plazo. Se han realizado hallazgos interesantes en términos de la evaluación de cambios las trayectorias tecnológicas de las economías. Duncan Foley y Thomas Michl (1999) en su libro *Crecimiento y Distribución*, además de hacer un recuento exhaustivo de las diferentes teorías del crecimiento, explican bajo una perspectiva de economía clásica cómo el cambio técnico es de alguna manera lo que determina *sesgos* en las economías (en contraparte a la noción de convergencia neoclásica), además de presentar una discusión sobre los mecanismos de transmisión de la tecnología.

Para Foley y Michl es plausible pensar, en contraste con la idea neoclásica de difusión pura, que el cambio tecnológico ocurre: 1) a partir del descubrimiento de métodos de producción no conocidos hasta el momento o, 2) con la adopción de métodos que ya son utilizados en alguna otra economía; añaden (también a diferencia de los modelos convencionales, los cuales no estudian los mecanismos de transferencia tecnológica), que la transmisión de tecnología implica costos, en referencia a los siguientes hechos: 1) la importación de equipos de producción adecuados –bienes de capital–, 2) la reeducación de la mano de obra –procesos de capacitación para el uso de la nueva maquinaria–, y 3) el periodo de aprendizaje para la operación adecuada de la nueva tecnología; estas tres condiciones los llevan a concluir que es “más sencillo” de cualquier forma la transferencia de tecnología que un desarrollo de una tecnología completamente nueva.

Así bajo el supuesto de que existen diferencias tecnológicas en las economías el modelo de crecimiento clásico explicaría la convergencia a través de la hipótesis de que los países –o regiones– menos desarrolladas presentan tasas más altas de crecimiento de la productividad laboral, *siempre y cuando existan condiciones de transferencia tecnológica proveniente de los países*¹¹ –o regiones– más desarrolladas; de no darse esta situación las condiciones de las economías no tendrán una tendencia a igualarse. Foley y Michl sostienen también la imposibilidad de concebir al cambio técnico como un proceso de difusión simplemente porque *la tecnología no es un bien público puro*, esto es, que las empresas están en la búsqueda de nuevos métodos que les permitan obtener mayores ganancias en comparación con sus competidores, este proceso

¹¹ Esta idea es lo que en realidad marca la diferencia entre esta perspectiva teórica de análisis del cambio técnico y las visiones convencionales, estas últimas no ponen atención en las condiciones estructurales que deben estar presentes para que los mecanismos de difusión tecnológica puedan ocurrir entre países y regiones.

aparece como determinante en el camino a la convergencia, porque de alguna forma implica la existencia de límites a la transferencia tecnológica, en un esquema de competencia es muy difícil que las condiciones tecnológicas y de crecimiento lleguen a igualarse, porque los empresarios buscarán mejorar de vez en vez con el objetivo de tener beneficios superiores al promedio, es por estas razones que en una teoría clásica del crecimiento *la acumulación está en el centro de las cosas* y ello se expresa, como veremos adelante, en disparidades geográficas de productividad.

En cuanto a la valoración empírica de estas ideas en un estudio Foley y Marquetti (2000) construyen la curva de eficiencia –que relaciona los cambios en la productividad laboral y la productividad del capital con el fin de hacer observables las transformaciones tecnológicas–, para la economía norteamericana, la brasileña y para una muestra de 126 países. Encuentran que a diferencia de la historia neoclásica en donde no debieran existir sesgos tecnológicos dado que las economías guardarían una tendencia a igualar sus estructuras técnicas ajustando las cantidades de capital y trabajo mediante una isocuanta de producción; en cambio, se encuentra que las economías analizadas siguen una senda de productividad decreciente de capital acompañada de una productividad creciente del trabajo en el curso de su desarrollo económico.

En un estudio reciente Basu (2010) investiga cuál teoría explica con mayor profundidad el cambio técnico si el neoclásico o el modelo clásico-marxista y concluye que esta última se ajusta más a la realidad y permite dar cuenta de la heterogeneidad en la tecnología de las economías¹². El concepto de tecnología –con un sentido mucho más amplio que el de una combinación de factores– consiste en decir que es la capacidad de las economías para incrementar la productividad laboral, en donde la productividad laboral y la productividad del capital y su evolución son clave para el entendimiento y análisis del fenómeno del progreso técnico. A partir de un modelo econométrico de series de tiempo para varios países, Basu realiza un ejercicio de contraste entre los resultados de un modelo neoclásico *versus* los resultados que arroja un modelo clásico, así pone a prueba la capacidad explicativa de las teorías y concluye que en la última década los economistas que trabajan bajo la tradición clásico-marxista, han desarrollado un marco alternativo coherente y consistente para el estudio del crecimiento económico a largo plazo de las economías capitalistas; ante esto concluye que no hay evidencia de que el cambio técnico pueda ser neutral –y convergente–, en cambio hay evidencia suficiente para demostrar la presencia de

¹² También el texto de Foley y Taylor (2004) pone atención al asunto de la validez comparada de los enfoques clásico y neoclásico para el estudio del crecimiento dando una importancia mayor a los modelos de corte heterodoxo ya que permiten tener un horizonte explicativo mayor.

heterogeneidad en las técnicas de producción y que la diferenciación a través de las economías prevalece.

Ferreti (2008), parte de una pregunta similar a la de Basu en cuanto a si es posible estudiar el cambio técnico y el crecimiento a partir de un enfoque no neoclásico, sugiere que mediante una modernización de los conceptos de la economía clásica es posible documentar la evolución del cambio técnico, entendido este como las mejoras en la productividad laboral a través de la disminución de la productividad del capital¹³, esto implica tendencias a una constante mecanización de los procesos productivos en una economía en crecimiento –concepto coincidente con el expuesto por Basu y diferenciado del concepto neoclásico–, en su investigación por medio de la aplicación de un análisis geométrico basado en la curva de eficiencia para el caso de la industria italiana, se encuentra como hecho estilizado una evolución desigual del cambio técnico, aunque existe una tendencia marcada hacia la aparición de patrones que ahorran trabajo y utilizan capital (al modo de Marx), así su trabajo presenta evidencia para sostener la hipótesis sobre divergencia en los patrones tecnológicos y de crecimiento de las economías.

Adalmir Marquetti (2002) y Gabriel Mendoza (2007) analizan cómo es que el cambio tecnológico sigue una tendencia histórica hacia el ahorro de trabajo mediante la utilización de capital, evidentemente el esquema conceptual con el que analizan el fenómeno está enmarcado en la tradición clásico-Marxiana, en sus estudios elaboran evidencia empírica, el primero para seis regiones del mundo (Europa Occidental, Europa del Sur, Oceanía, África del Norte, África Subsahariana y América Latina), y el segundo para las economías más grandes de América Latina¹⁴ y Estados Unidos; encuentran, salvo en el caso del África Subsahariana que las regiones presentan una tendencia histórica similar, el hecho estilizado encontrado describe una tendencia creciente de la productividad laboral combinada con una productividad del capital decreciente, concluye

¹³ La idea central detrás de la disminución de la “productividad del capital” es justamente la incorporación de cantidades mayores de capital fijo con respecto al capital variable o trabajo, este concepto de *productividad del capital* en el enfoque clásico es solo un referente para medir el grado de mecanización y no tiene que ver con el concepto **de productividad total de los factores (PTF) o productividad multifactorial neoclásico en el cual subyace** la hipótesis sobre la posibilidad de que el capital fijo genera valor en contraste con la visión clásica-marxista en donde se sostiene que el capital solo transfiere su valor a las mercancías producidas. Para el propio Marx (2001) existe la idea de que el capital productivo cuando afirma: “la productividad de la maquinaria está en razón inversa a la magnitud de la parte de valor que transfiere al producto. Cuanto mayor sea el período durante el que funciona, tanto mayor será el también la masa de productos entre los que se distribuya el valor por ella incorporado, y menos la parte que añade a cada mercancía.” (p. 332), entonces el capital es “productivo”, en tanto transfiere de manera paulatina su valor a las mercancías, el límite de su “productividad” es la cantidad de valor que contiene.

¹⁴ Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México.

que es empíricamente válida la noción de Marx sobre la presencia de una tendencia histórica de la tasa de ganancia a decrecer inducida por un proceso histórico de acumulación explicado por un contexto de constante competencia entre los capitales.

Duménil y Lévy (2003), plantean cómo es posible estudiar el cambio técnico desde de la descripción de Marx sobre las trayectorias históricas de la economía como alternativa a los modelos de crecimiento estándar. La hipótesis que defienden en su trabajo consiste en afirmar que las variables tecnológicas (productividad del trabajo y del capital¹⁵), tienen una trayectoria definida históricamente y cuándo llegan a presentarse inconsistencias hay mecanismos que las impulsan a volver a su trayectoria, así el cambio técnico se define como el aumento de la productividad del trabajo como producto de un aumento paralelo del capital fijo, lo cual refleja una tendencia a la mecanización de la producción¹⁶. A partir de la implementación de un modelo con características evolucionistas y con aspectos dinámicos llegan a la conclusión de que las innovaciones no implican siempre un aumento simultáneo del trabajo requerido en la producción, así el aumento en la productividad del trabajo se explica por una tendencia a la disminución de la productividad del capital.

Desde esta perspectiva se hacen aproximaciones macroeconómicas al fenómeno¹⁷, en general los resultados que ellos han encontrado son consistentes, han demostrado presencia de

¹⁵ Para fines ilustrativos sobre el sentido que tiene la noción de productividad del capital en esta investigación asumimos el término solo en un sentido técnico que permite evaluar la trayectoria de tecnificación de la economía y al igual que Foley y Marquetti (2000), se hace abstracción de elementos como la heterogeneidad en la cualificación del trabajo y la composición de los insumos, de la misma forma tampoco se hace una distinción entre cambios en la medida de capital debidos a modificaciones en la cantidad de bienes de capital de cada industria, estos son dos aspectos –sobre todo el segundo– están ligados con la controversia de Cambridge en donde las preguntas fundamentales eran: ¿Qué es el capital? ¿Y en qué unidades se mide?, de acuerdo con Kurz y Salvadori (1995) los posicionamientos son variados y al menos tres son los más relevantes, el primero considera a los bienes de capital como un conjunto de bienes físicos que forman parte de un fondo de subsistencia –noción desarrollada por Böhm-Bawerk–, el segundo considera al capital como un conjunto de bienes físicos heterogéneos, esencialmente como un vector –esta es la noción de Walras– y, el tercero como una magnitud de valor –esta definición se le atribuye a Clark–, en nuestro caso para fines prácticos y por la disponibilidad de datos para la construcción de la evidencia empírica (véase capítulo 2), se toman las valoraciones de los acervos de capital en términos monetarios.

¹⁶ Vale la pena mencionar que la definición de crecimiento que enmarca al cambio técnico tiene que ver con que las ganancias sean crecientes puesto que ello permite que exista un ambiente económico idóneo para la acumulación de capital fijo.

¹⁷ Aunque parcialmente existe la idea de patrones regionales en la determinación del cambio técnico, esto implicaría la hipótesis sobre que en algún grado la interacción impuesta por la cercanía geográfica genera procesos que determinan las condiciones de acumulación y crecimiento de las unidades de análisis.

trayectorias de dependencia¹⁸ que determinan el progreso técnico, en economías en crecimiento es posible encontrar una regularidad empírica que consiste en una marcada tendencia al crecimiento de la productividad laboral y un concomitante estancamiento o tendencia a decrecer de la productividad del capital. Además pueden existir pautas distintas de comportamiento de estas variables a razón de la existencia de una amplia heterogeneidad explicada por diferencias estructurales entre las economías. Así el crecimiento económico significa no el incremento del producto *per se*, sino la acumulación de capital fijo que induce el crecimiento de la productividad laboral y en última instancia el crecimiento del producto generado por una economía.

Si la discusión de estos autores está inclinada al análisis de patrones macroeconómicos, aunque sí han estudiado el fenómeno para grupos de países o regiones, al no involucrar elementos de interacción entre los mismos se puede asegurar que se trate de estudios orientados al análisis de procesos de cambio tecnológico a nivel local y en este sentido se dirige el propósito de la presente investigación. La que probablemente sea la mayor contribución de este tipo de análisis es que encuentran los elementos suficientes para explicar la heterogeneidad que se expresa en los patrones tecnológicos de diversas unidades de análisis, además lo hacen a partir de variables que explican las condiciones reales de producción de una economía, a diferencia de los modelos enmarcados en la agenda de investigación neoclásica, las variables que se toman en cuenta desde este enfoque (el clásico-marxiano), no enfrentan de facto el problema en la mensurabilidad de las variables, si por ejemplo en el enfoque inspirado en Solow y algunos evolucionistas se afirma que cualquier mejoría en el capital fijo o en la preparación de la mano de obra puede considerarse como cambio tecnológico, este último punto resulta complejo de medir pues no hay un método o unidad de medida técnicamente desarrollado para evaluar el nivel de conocimientos y habilidades de los trabajadores además de la amplia heterogeneidad presente en ese sentido, entonces al limitar el análisis del fenómeno a variables observables puede encontrarse una ventaja en contraste con el análisis convencional.

3. Conocimiento compartido

Finalmente en esta breve revisión de la literatura sobre el tema y con el objetivo de aclarar la existencia de un conocimiento compartido a cerca del cambio técnico y el crecimiento por distintos enfoques de la economía. Se hace referencia al trabajo de Cristiano Antonelli (2009)

¹⁸ Se refiere al hecho de que los cambios tecnológicos (expresados en procesos de acumulación), dependen de las decisiones de acumulación que se han hecho en el pasado.

donde hace una buena valoración sobre el legado de los economistas clásicos (Smith y Marx), de las ideas de Marshall sobre la localización industrial así como de los aportes de Schumpeter a la teoría evolucionista, argumenta que las ideas que están de alguna manera involucradas en la obra de estos autores que conciben el cambio técnico como un proceso puramente endógeno y estructural son por excelencia el punto de partida para estudiar los procesos y mecanismos que fundamentan los cambios en la tecnología empleada por las economías.

Para Antonelli las mejoras en la productividad de los procesos de producción son la explicación principal del crecimiento económico. Rescata también la idea ya presente en estos autores, de que la proximidad geográfica es elemental para que los procesos de cambio técnico ocurran, llama la atención su argumentación de por qué en un contexto de discusión de la economía desde una perspectiva de la complejidad es imprescindible recurrir a los conceptos clásicos del cambio técnico pues son -a diferencia del enfoque a la Solow-, los que pueden dar luz sobre las reglas de comportamiento de los agentes económicos como fundamento de cambios endógenos en la estructura tecnológica de una economía.

En nuestro caso haremos uso de la perspectiva Clásico-Marxista sobre el cambio técnico con el fin de revalorar esas categorías de análisis, pero en un ámbito local. Siguiendo los argumentos de Antonelli puede argumentarse que son dos los aspectos a revalorar con esta investigación: 1) se presenta un marco alternativo de análisis sobre el cambio técnico y el crecimiento regional con respecto a la visión neoclásica y un poco más emparentada con la visión evolutiva y 2) se ofrece un modelo de interacción local con el fin de aportar un tipo de modelación que por sus propiedades nos permita capturar heterogeneidad de las unidades de análisis; en el siguiente cuadro se presentan los conceptos clave para el análisis del cambio técnico desde las tres perspectivas teóricas abordadas, ello da cuenta del *conocimiento compartido* a cerca del tema así como de las principales diferencias conceptuales.

Tabla 1. El cambio técnico desde tres perspectivas teóricas

Concepto	<i>Perspectiva Neoclásica</i>	<i>Perspectiva Evolucionista</i>	<i>Perspectiva Cásico-Marxista</i>
<i>Definición de cambio técnico</i>	Son todas las mejorías que se presentan en el capital fijo y los trabajadores (incremento en conocimientos y habilidades).	Se trata de innovaciones en el capital fijo, desarrollo del capital fijo se observa como un proceso de transformación evolutiva.	Es una tendencia histórica a la mecanización de las tareas de producción que implica desplazamientos de mano de obra.
<i>Supuesto más relevante</i>	El capital humano tiene un rol importante en la inducción de cambios en la tecnología.	Las empresas evolucionan con el objetivo de tener éxito en sus negocios y ello se logra mediante innovaciones en la producción y los productos.	La tecnología es la capacidad de las economías para incrementar la productividad laboral.
<i>Microfundamentos</i>	La tecnología de las empresas cambia según el modo en que se combinen porciones de capital fijo y trabajo (o capital humano).	Los empresarios toman sus decisiones de inversión en función de un <i>ambiente</i> empresarial.	Los capitalistas deciden acumular en función de un nivel de rentabilidad y un contexto de competencia.
<i>Productividad</i>	Se calcula de manera indistinta sobre los bienes de capital y el trabajo (el capital genera valor).	Se considera solo al trabajo como productivo.	Se considera solo al trabajo como productivo y se afirma tiene una tendencia histórica creciente.
<i>Crecimiento</i>	Variaciones positivas en el producto total.	Variaciones positivas en la productividad.	Acumulación de capital fijo que mecaniza la producción e induce el crecimiento de la productividad laboral.
<i>Análisis regional y mecanismos de difusión</i>	Se considera que hay procesos de difusión tecnológica debido a la existencia de interacción local entre empresas o unidades de análisis regional.	Se dan procesos de aprendizaje local con base en la interacción de agentes individuales (trabajadores y empresarios).	No se tiene una noción de análisis regional y los mecanismos para la difusión se centran en un mercado de tecnología (existe un departamento productor de bienes de capital), aunque no se niega la posibilidad de que la cooperación entre los trabajadores genera mejoras en la producción y el capital fijo.

Fuente: Elaboración propia.

En adelante se hace una exploración de los hechos estilizados para el caso de los municipios de México con el fin de hacer observables los patrones de cambio técnico y la heterogeneidad del mismo en el territorio. Después se implementa un modelo de autómatas celulares para evaluar los ritmos y pautas del cambio técnico conforme a una variación de un modelo de mayorías bajo el supuesto de que los patrones de difusión técnica tienen que ver con la posibilidad que tienen los empresarios individuales de acceso a la información sobre las decisiones de inversión de sus competidores y de sus estrategias de mejora en la tecnología, ya sea por medio de la automatización de tareas productivas mediante la adquisición de capital fijo de punta o implementando mejoras organizacionales.

Se encuentra que dada una tendencia sistemática a la mejoría técnica u organizacional en las actividades industriales se genera por un lado una serie de desigualdades regionales con emplazamientos industriales muy prósperos y productivos otros lugares en donde ya no es factible la producción industrial, por otro, esa tendencia creciente a la mecanización provoca en el largo plazo un desplazamiento significativo de mano de obra, lo cual conduce a pensar en la necesidad de un manejo alternativo de la política económica a nivel macroeconómico, regional y sectorial con el fin de asegurar los mayores niveles de empleo posible dada la estructura demográfica de cada región en específico.

El trabajo está organizado de la siguiente manera: en la siguiente sección se explica cómo se llega a la medición del cambio técnico bajo una perspectiva de economía clásica y se hace una exploración exhaustiva de datos regionales mediante técnicas de análisis espacial, además se construye una diferenciación entre trabajo productivo e improductivo. En el capítulo tres se presenta la aplicación de un modelo de simulación con el objetivo de saber las implicaciones locales y globales del desarrollo tecnológico para una economía en crecimiento y finalmente se exponen algunos puntos sujetos a discusión.

Capítulo 2. Hechos estilizados, evaluación del cambio técnico en los municipios de México

1. Medición del cambio técnico

Se parte de una descripción teórica de las variables con el objetivo de tener claridad en su interpretación empírica sobre la evaluación del cambio técnico a nivel local (cada uno de los municipios de México) y agregado (para el país), así como los efectos de éste sobre el crecimiento económico. La producción total de una economía, al final de un año, es contabilizada como el valor total de los bienes y servicios generados, si se descuenta el equivalente a la cantidad de bienes y servicios que fueron producidos en un periodo de producción anterior y que sirven como insumos se obtiene *valor agregado*, que queda disponible para el consumo, productivo e improductivo, la acumulación de capital queda definida como la *inversión bruta*¹⁹.

El *Producto Bruto* (PB) es igual al valor bruto de la producción en precios de mercado, incluyendo el consumo y la inversión bruta. Sin embargo, la inversión bruta debe ser ajustada por la depreciación, de tal manera que se pueda tener un cálculo del *Producto Neto* (PN) que es igual al PB menos el valor atribuido a la depreciación, es decir, solo incluiría la *inversión neta*.

Si se considera que el producto bruto no es más que la multiplicación de precios por cantidades, entonces podrían existir variaciones en la producción que no sean precisamente explicadas por el incremento o disminución de la misma en unidades físicas²⁰, sino por la variación en los precios, por ello se utiliza el *índice de precios*²¹, el cual fija los valores de las mercancías con respecto a un año base, de tal manera que al dividir la producción de cualquier periodo por el peso respectivo de los precios, podemos aproximarnos con mayor certeza al valor *real* de la misma.

¹⁹ En la construcción de los acervos de capital esta variable juega un rol importante porque por medio de su consideración se puede incorporar en la medición el *cambio técnico*. La justificación es que es válido suponer que la inversión refleja o mide la tendencia a la mecanización de los procesos productivos, pues justamente mide (aunque no en todos los casos) la suma de activos fijos a la producción.

²⁰ Considerar la eliminación del efecto de la variación de los precios en las mediciones es importante para el cálculo de una medida de productividad que en realidad dé cuenta de los posibles efectos que surgen de la incorporación de nuevas tecnologías. A modo de precisión se debe recordar que la productividad laboral puede ser evaluada desde dos puntos de vista:

- i) **En términos físicos:**
 - a) 1 jornada-hombre 1 pala = 1 metro de excavación/hombre
 - b) 1 jornada-hombre 1 excavadora = 100 metros/hombre
- ii) **En términos de valor:** los efectos del aumento de la productividad se difunden a través de las interdependencias sectoriales de la actividad productiva (esto además puede tener efectos espaciales a razón de que tales efectos de difusión se expresan en lugares específicos, esto es un argumento que sustenta la idea de una diferenciación de productividades regionales).

²¹ Para los datos utilizados en este trabajo se utilizó como deflactor el índice de precios a la producción manufacturera tomando como año base 2003.

Entonces el *producto real*, que podemos denotar como X , es el total de riqueza nueva que es capaz de generar una sociedad a partir de los recursos con los que cuenta. Recuérdese que en los modelos neoclásicos de la tradición de Solow (1956, 1957) o bajo el esquema del modelo Mankiw-Romer-Weil (1992), desde la perspectiva macroeconómica y sus adaptaciones locales, los incrementos en esta variable son la vía para evaluar el cambio técnico, ya sea a partir de los efectos positivos que genera un residual –en términos de medición–, o de la valuación que se haga del *capital humano*, si es que incrementa X , entonces es posible decir que las mejorías en el capital fijo, el trabajo y el capital humano significan progreso técnico que hace incrementar la producción. Bajo tal esquema de análisis *todo* lo que ingresa en la producción es susceptible de considerarse como productivo (recuérdese que en la economía convencional se habla de la *productividad total de los factores*, trabajo y capital son igualmente productivos). En contraste, bajo un enfoque de *economía clásica* solo se consideraría al trabajo (o los trabajadores), como capaz de generar valor nuevo y no los insumos, el valor de estos *solo se transfiere al producto, más no se incrementa*.

Para medir el producto de una economía, es importante tomar en cuenta el valor de la depreciación, D . El producto neto, $Y = X - D$, es la expresión del producto social, menos la depreciación. Podemos medir la cantidad de trabajo como el número de trabajadores empleados (aunque puede tomarse alternativamente el número de horas-hombre), este se denota como N .

Los bienes de capital de una economía consisten en una vasta colección de acervos heterogéneos, los cuales se componen de materias primas, bienes en proceso de elaboración, la planta, el equipo, medios de transporte, etcétera. Se puede simbolizar la cantidad de bienes de capital como K , que sería la suma de el valor de los bienes de capital, menos la depreciación y añadiendo la parte de la inversión bruta²². Aunque la dificultad de contar con estimaciones de los acervos de capital como tales no puede soslayarse en este punto, el tema es tener una buena aproximación al método empleado en un modelo de estas características y en sentido estricto la valuación reportada en la contabilidad censal lo permite.

Para poder comparar distintas economías, o una misma economía a través del tiempo, lo usual es medir el producto y el acervo de capital por trabajador. El producto por hombre empleado,

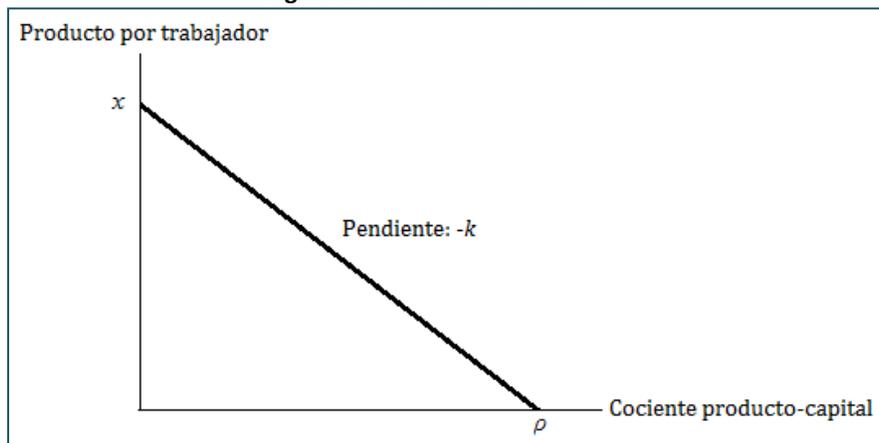
²² La valuación de los acervos en la contabilidad censal corresponde con esta descripción. En este trabajo se ocupan los cortes de 1999, 2004 y 2009, para cada uno se cuenta con una valuación de los bienes de capital por unidad geográfica de observación. Se recomienda ver: INEGI (2004). "*Metodología de los censos económicos*", para verificar la validez de la medición y su correspondencia en términos conceptuales.

$x=X/N$, es una medición promedio de la productividad, o simplemente, la *productividad laboral*²³. El acervo de capital por trabajador, $k = K/N$ es una medición de la intensidad de capital. Definimos $\rho=X/K$ como el cociente producción/capital. También podemos definir el ratio de depreciación como $\delta = D/K$, y finalmente $y = Y/N$ como *el producto neto por trabajador*. El cociente del producto neto por el stock de capital puede ser expresado como: $Y/K = (X - D) / K = \rho - \delta$.

1.1 La pauta de cambio técnico

Prácticamente año con año es posible medir la producción real de una economía, con los datos disponibles a nivel censal se puede hacer el ejercicio a nivel local; si consideramos las variables construidas en el apartado anterior $\{x, \rho\}$, es posible construir una pauta de cambio técnico para una economía cualquiera atendiendo al par mencionado. Así se trata de una línea recta que intercepta al eje vertical en x , y al eje horizontal en el punto ρ . De tal manera que el cociente $k = x/\rho$, cambiado de signo es la pendiente de esa recta, es decir, la razón capital-trabajo²⁴. La representación gráfica puede verse en la figura 1.

Figura 1. Pauta de cambio técnico



Fuente: Foley y Michl (1999)

Los movimientos en la curva permiten construir una representación del cambio tecnológico en la economía, puesto que establece relaciones entre las variables que determinan el crecimiento del producto y los niveles de acumulación. Teóricamente es posible enlistar las alternativas de

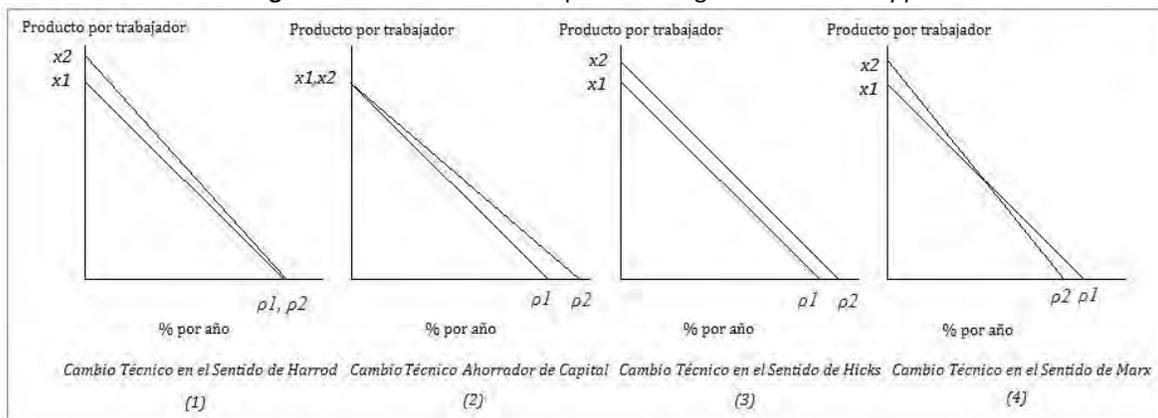
²⁴ ¿Qué diferencia habría entre este camino para evaluar el cambio técnico y el uso de una función Cobb-Douglas? La diferencia esencial consiste en que la curva de eficiencia permite observar de manera directa (sin necesidad de estimar parámetros extra) los cambios en las relaciones técnicas de producción, involucra la medición del cambio en las proporciones de mano de obra y capital fijo. Además hace observables los efectos de la incorporación de progreso técnico (mediante la acumulación de activos fijos o mecanización), sobre la productividad laboral.

transición de la curva para caracterizar los ritmos y pautas que sigue una economía en crecimiento, según el trabajo de Foley y Marquetti (2000) pueden suceder cuatro tipos de movimiento de la curva:

- (1) *Cambio técnico en el sentido de Harrod*: es el cambio técnico que eleva la productividad del trabajo manteniéndose constante el cociente producto-capital.
- (2) *Cambio técnico ahorrador puro de capital*: aumenta el cociente producto-capital sin cambios en la productividad del trabajo.
- (3) *Cambio técnico en sentido de Hicks*: se corresponde con un desplazamiento en paralelo en la curva de eficiencia, es decir, la tasa de crecimiento de x y ρ es exactamente igual.
- (4) *Cambio técnico sesgado al modo de Marx*: es ahorrador de trabajo y ahorrador de capital, se corresponde con una rotación de la curva en el sentido de las manecillas del reloj.

Además se considera que “cualquier pauta arbitraria de cambio técnico puede descomponerse en una combinación de cambios ahorradores de trabajo y ahorradores de capital” (Foley y Marquetti, 2000: 29), siempre correspondiendo al par $\{x, \rho\}$ o a sus respectivas tasas de crecimiento $\{g, c\}$.

Figura 2. Cambios técnicos hipotéticos según cambios en x y ρ



Fuente: Elaboración propia

En la figura 2 se observa la representación geométrica de las posibilidades de cambio técnico según el tipo de desplazamiento que se genera en las pautas con la evolución de la productividad laboral y la relación producto-capital. A diferencia del análisis neoclásico este instrumento es sencillo, pero permite observar no sólo los cambios en las relaciones técnicas de producción también permite caracterizar la heterogeneidad del cambio técnico. En términos de una función

de producción neoclásica se pueden diferenciar los valores que asume la variable de la producción bruta total (X), el nivel de la función de producción y los parámetros asociados al capital, el trabajo y el capital humano²⁵, en cambio en este caso se cuenta con una idea más de fondo sobre las condiciones estructurales que provocan esa heterogeneidad, el punto central en la discusión es si una relación estadística resulta ser el mejor camino para evaluar el cambio técnico o es más plausible acercarse a la medición de este fenómeno por la vía de la pauta de cambio técnico.

Un buen contraste con la medición hecha en esta investigación es la que está elaborada bajo un esquema de análisis neoclásico en INEGI (2013), donde se elaboran cálculos de la *productividad total de los factores*, si bien el trabajo corresponde con un análisis de series de tiempo y no de corte transversal-espacial como el presente la diferencia sustantiva es la consideración teórica de diferenciar que independientemente de que se tomen en cuenta mediciones de la relación producto-capital, sólo se está considerando como parte realmente productiva aquella que proviene de la mano de obra, esto en términos de las conclusiones sobre el desarrollo tecnológico tiene una connotación diferente, pues lleva a pensar que la tecnología eleva de manera considerable la productividad laboral y así las capacidades de determinadas regiones para crecer, no así la aportación del capital pues a fin de cuentas es solo un medio o mecanismo para la producción, la transferencia del valor de los medios de producción al valor de las mercancías debe ser asociada únicamente a la contabilidad de la depreciación, pues una máquina no incrementa su valor en el tiempo solo es su desgaste lo que determina su capacidad productiva en los procesos productivos.

2. Evaluación del cambio técnico en los municipios de México

En correspondencia con el esquema propuesto en el marco referencial del capítulo 1 y el apartado anterior, se considera que en la economía hay actividades *capaces* de generar valor, mientras otras son puramente distributivas. Así la creación de riqueza nueva se concentra en un conjunto de actividades económicas específicas, estas pueden considerarse como industriales.

Para el estudio del cambio técnico en las actividades productivas seguimos a Shaikh (1984), tenemos que las actividades que pueden considerarse como industriales y de las cuales se cuenta

²⁵ Cuando se estiman funciones de producción lo más usual para medir el capital humano es tomar el grado promedio de escolaridad y este es utilizado como *proxy* del acervo de conocimiento de una sociedad en específico.

con información censal son: 1) Minería²⁶; 2) Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica y suministro de agua; 3) Construcción, 4) Industrias manufactureras; 5) Transportes, correo y almacenamiento, 6) Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y remediación; y 7) Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas²⁷.

Para realizar los cálculos es necesario hacer la distinción sobre cuáles de los trabajadores, dentro de las actividades económicas consideradas, están involucrados directamente en la producción, dejando fuera de la estimación de la productividad laboral aquellos trabajadores que realizan tareas contables o administrativas, esto determinaría una diferencia en la forma de medir la productividad laboral con respecto al enfoque neoclásico, pues bajo ese enfoque se considera como productivo: 1) cualquier tipo de actividad económica y 2) cualquier tipo de trabajador, esta distinción implica que la medición *clásico-marxista* de la productividad siempre resulte ser más elevada en comparación con una medición neoclásica.

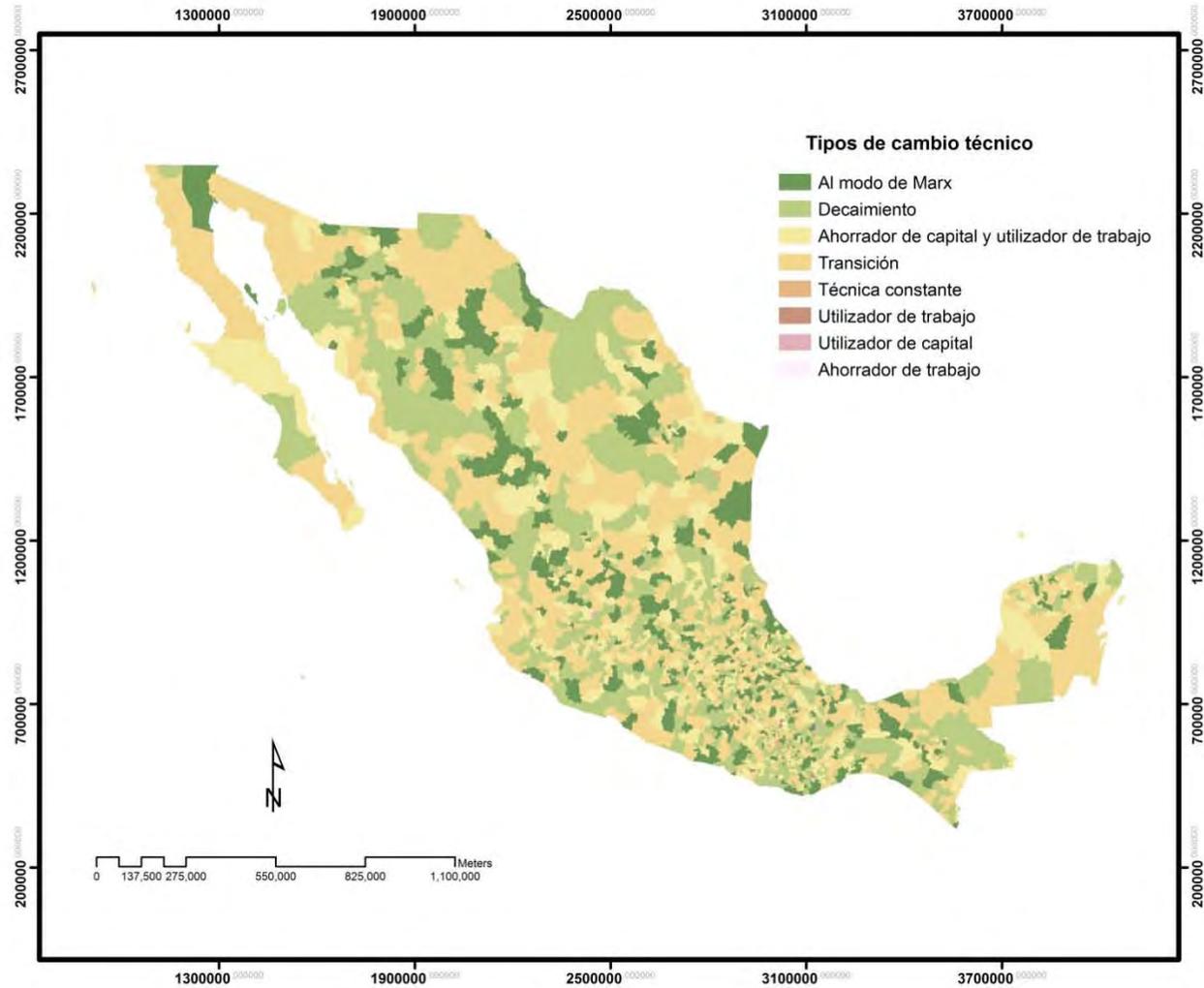
Con la información disponible en los censos económicos de 1999, 2004 y 2009 es posible construir las variables que se proponen en el análisis macro para hacer análisis a nivel municipal en México. Se asume la productividad laboral de cada municipio i como, x_i , es igual a dividir el valor agregado del municipio i , se simboliza como X_i , por el número de trabajadores operativos N_i ; la productividad del capital de cada municipio, ρ_i , se calcula como el valor agregado dividido por la cantidad de acervos de capital fijo de cada municipio i , y se simboliza como K_i . En el primer caso tenemos como resultado una cantidad monetaria de valor agregado generada por cada trabajador anualmente y en el segundo, un porcentaje por año debido a que tanto el valor agregado como los acervos de capital fijo se hallan valuados en cantidades monetarias.

Si entre cada periodo (1999-2004, 2004-2009 y 1999-2009) calculamos la tasa de crecimiento anual promedio del par $\{x_i, \rho_i\}$, tendríamos otro modo de evaluar el cambio técnico, atendiendo a la misma lógica de los movimientos explicados en la figura 2. Denotemos como g_i , a la tasa de crecimiento anual promedio de la productividad laboral y como c_i , a la tasa de crecimiento anual promedio de la relación producto-capital, o en términos modernos la *productividad del capital*.

²⁶ Para este estudio se excluye de la medición la actividad relacionada con la extracción de petróleo y gas, la razón de que así sea es porque en México esta actividad es de control estatal, además de ser altamente monopolizada, el estudio del fenómeno del progreso técnico de esta rama merecería atención aparte.

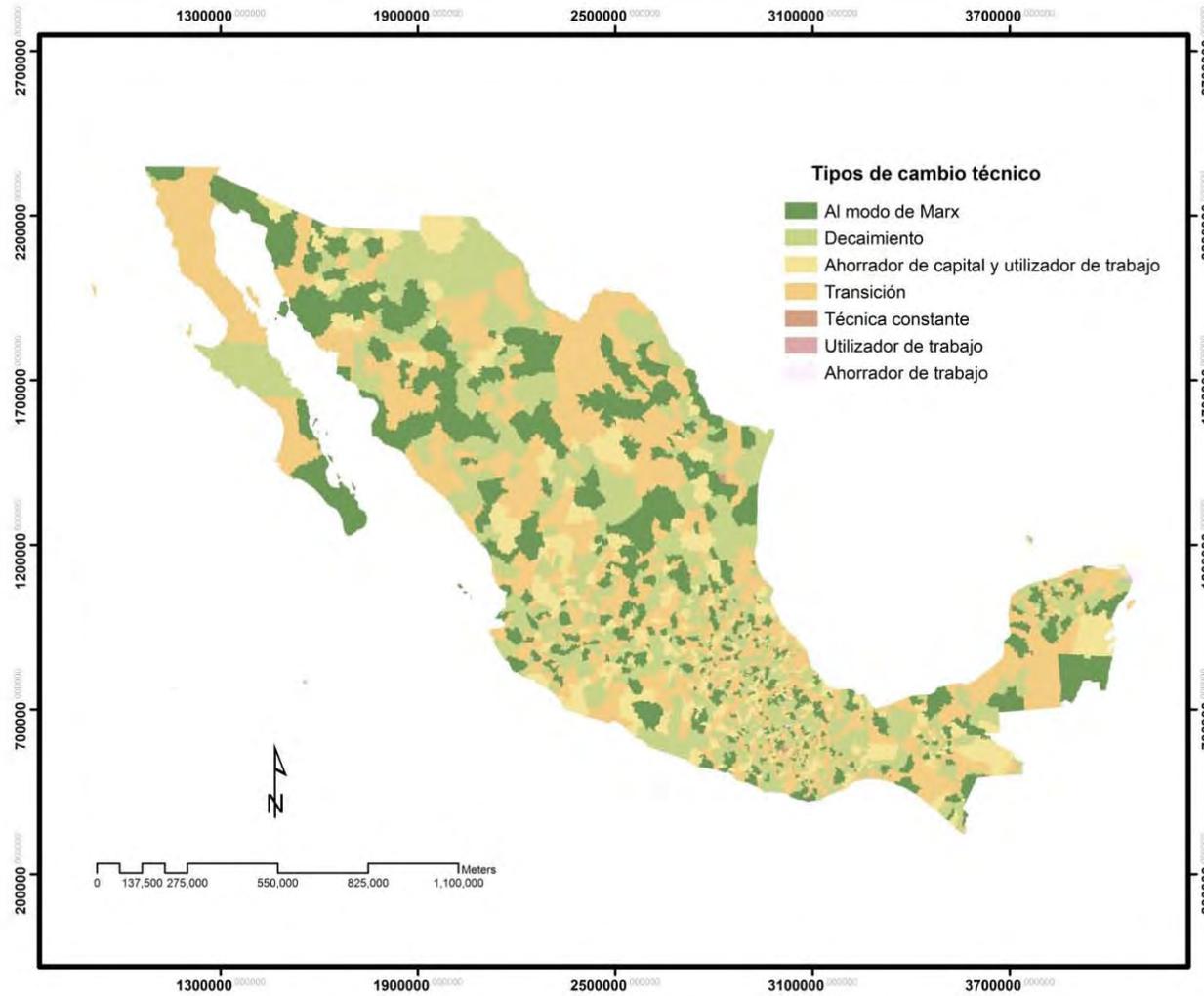
²⁷ Vale hacer énfasis que la clasificación sirve para evaluar el cambio técnico en lo que teóricamente correspondería con una evaluación sobre las actividades en las que se involucra trabajo productivo desde la perspectiva clásico-marxista, dicha distinción sirve de otro punto de diferencia con la escuela neoclásica, donde cualquier tipo de trabajo es considerado como productivo.

Figura 3. Pautas de cambio técnico 1998-2003



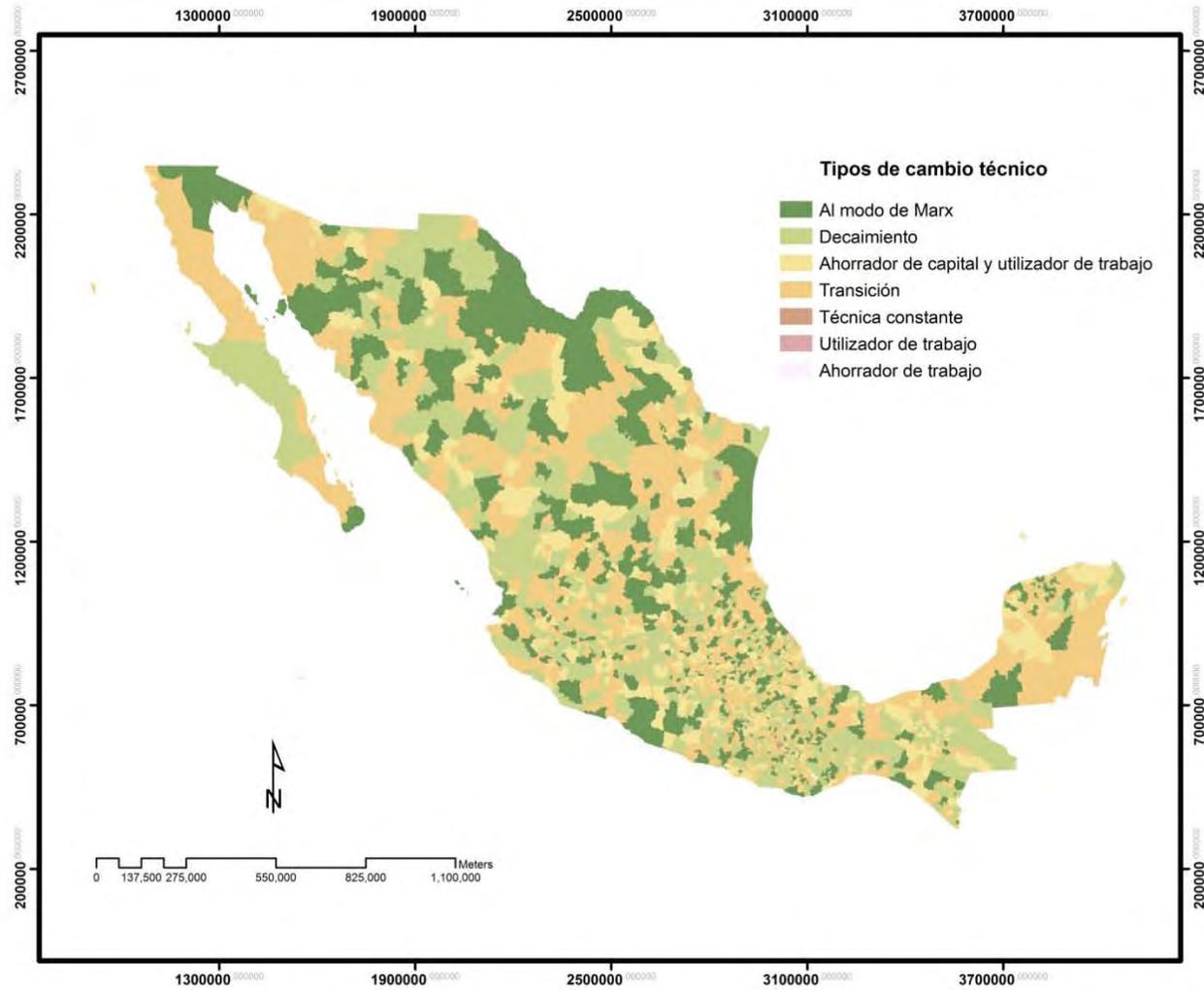
Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI. Censos Económicos de 1999 y 2004.

Figura 4. Pautas de cambio técnico 2003-2008



Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI. Censos Económicos de 2004 y 2009.

Figura 5. Pautas de cambio técnico 1998-2008



Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI. Censos Económicos de 2004 y 2009.

Las figuras 3 a 5 ilustran la forma en que se dan los cambios técnicos para los periodos 1998-2003, 2003-2008 y 1998-2008, atendiendo a los movimientos que se dan en la curva de eficiencia. Los resultados observados son congruentes con el *hecho estilizado* más importante hasta ahora observado en los trabajos empíricos realizados bajo este marco de referencia como el de Basu (2010), Mendoza (2007), Marquetti (2003), Foley y Marquetti (2000), entre otros, en donde se encuentra que *el cambio tecnológico en las economías capitalistas es heterogéneo, además de no encontrar evidencia de que éste sea neutral, en el sentido de que la productividad laboral y la del capital mejoren simétricamente*. En caso de cumplirse la historia neoclásica de convergencia (tecnológica y de crecimiento), se debería observar una tendencia sistemática hacia la homogeneidad tecnológica a partir de ritmos de crecimiento de la productividad (laboral y del capital) deberían similares en todos los casos de observación (los municipios de México).

De los cambios técnicos elaborados teóricamente, en la evidencia empírica sólo se observa el cambio técnico en el sentido de Marx, de tal suerte que encontramos pautas tecnológicas susceptibles de descomponerse en una combinación de nuevos ritmos de cambio técnico combinando los movimientos del par $\{g_i, c_i\}$.

Tabla 2. Tipos de cambio técnico empíricos

Tasa de crecimiento en la productividad laboral (g_i)	Tasa de crecimiento en la productividad del capital (c_i)	Tipo de cambio técnico
$g_i > 0$	$c_i < 0$	<p>Cambio técnico al modo de Marx (Ahorrador de trabajo y utilizador de capital) Aumento sistemático de los niveles de producción por efecto de la automatización o reorganización de las tareas productivas, el capital físico aumenta y hay desplazamiento de mano de obra.</p>
$g_i < 0$	$c_i < 0$	<p>Decaimiento Con tasas de crecimiento de la productividad laboral y del capital negativas hay evidencia de que en ese lugar se ha detenido el progreso técnico.</p>
$g_i < 0$	$c_i > 0$	<p>Ahorrador de capital y utilizador de trabajo. A nivel local la explicación de este efecto se debe a dos causas: 1) Puede estar en aumento el empleo de mano de obra, 2) existe una disminución sistemática del nivel de producción.</p>
$g_i > 0$	$c_i > 0$	<p>Transición Ocurre un aumento de los niveles de producción locales, pudiendo darse combinaciones entre incrementos o disminuciones de las cantidades de mano de obra, así mismo incrementos o disminuciones en la utilización de capital fijo.</p>
$g_i = 0$	$c_i = 0$	<p>Técnica constante No hay movimientos en las proporciones de mano de obra, capital fijo y la producción resultante.</p>
$g_i < 0$	$c_i = 0$	<p>Utilizador de trabajo Pueden ocurrir dos fenómenos: 1) aumento del empleo de mano de obra o, 2) disminución de la producción local.</p>

$g_i = 0$	$c_i < 0$	Utilizador de capital Crece el capital fijo empleado en la economía local, pero ello no se refleja en el aumento de la productividad de la mano de obra.
$g_i > 0$	$c_i = 0$	Ahorrador de trabajo Hay desplazamiento de mano de obra o aumento de la producción.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la investigación.

La tabla anterior sintetiza los tipos de cambio técnico hallados al construir una curva de eficiencia sobre las actividades industriales elegidas para el caso de los municipios de país. Las variables utilizadas para la construcción de las pautas de cambio técnico reflejan la presencia de una amplia heterogeneidad en las unidades de observación (tabla 2); la producción industrial en los municipios del país tiene una composición de alta concentración en algunas regiones, mientras que en otras la actividad industrial tiene una presencia prácticamente nula. Existen unidades en donde el personal operativo industrial es solo de una persona, en contraste con las de mayor concentración donde el personal operativo en promedio para los tres años de observación es de 220 mil personas. Con respecto a los cálculos de la productividad laboral sucede exactamente el mismo fenómeno, existen unidades con una productividad muy baja y otras con niveles de productividad elevada y muy superior a los valores medios.

Tabla 3. Número de municipios por tipo de pauta de cambio técnico y % de valor agregado industrial que aportan 1999, 2004 y 2009

<i>Tipo de cambio técnico-periodo</i>	<i>N° de Municipios</i>	<i>% de valor agregado</i>
1999-2004		
Al modo de Marx	370	15%
Decaimiento	751	26%
Ahorrador de capital y utilizador de trabajo	442	24%
Transición	875	35%
Técnica constante	6	NS
Utilizador de trabajo	6	NS
Utilizador de capital	4	NS
Ahorrador de trabajo	2	NS
Totales	2456	100%
2004-2009		
Al modo de Marx	439	25%
Decaimiento	798	22%
Ahorrador de capital y utilizador de trabajo	368	14%
Transición	834	40%
Técnica constante	9	NS
Utilizador de trabajo	3	NS
Utilizador de capital	0	NS

Ahorrador de trabajo	5	NS
Totales	2456	100%
1999-2009		
Al modo de Marx	427	28%
Decaimiento	703	7%
Ahorrador de capital y utilizador de trabajo	449	11%
Transición	865	54%
Técnica constante	6	NS
Utilizador de trabajo	3	NS
Utilizador de capital	0	NS
Ahorrador de trabajo	3	NS
Totales	2456	100%

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: NS (No significativo), el porcentaje de valor agregado que representan esos municipios es menor al 1% en conjunto.

Los tipos de cambio técnico pareciesen agrupar una cantidad más o menos homogénea de municipios, para los tres periodos de análisis es alrededor del 15% de los municipios los que presentan un tipo de pauta al modo de Marx, la pauta que implica algún tipo de desindustrialización (decaimiento), representa el 30% de los municipios del país, en cuanto a la pauta ahorradora de capital y que utiliza trabajo agrupa para los tres periodos el 18% de los municipios del país, mientras que la pauta que parece dominar por mayoría el comportamiento tecnológico del país es la que implica algún tipo de transición, que para el periodo 1999-2004 agrupa el 35% de los municipios, para el periodo 2004-2009 el 40% y para el periodo largo 1999-2009 representa el 54% de los municipios del país.

De igual manera conforme al porcentaje de valor agregado de los municipios agrupados en cada una de las pautas en promedio para los tres periodos de observación los municipios bajo la pauta al modo de Marx representa el 23%, la pauta en decaimiento el 20% aunque disminuye considerablemente en el periodo de análisis más largo a el 7%; la pauta ahorradora de capital y que utiliza trabajo agrupa a los municipios que representan en promedio un 25% del valor agregado; siendo las pautas en transición las que están asociadas a un nivel de representatividad alto del valor agregado, alrededor del 50% de la riqueza que se genera en la producción industrial del país se inserta en esta dinámica tecnológica.

Tabla 4. Estadística descriptiva de las variables empleadas para el cálculo de las curvas de eficiencia

Variable	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación estándar
<i>Personal ocupado total 1998*</i>	1	280,905	2,934	15,235
<i>Personal operativo 1998*</i>	1	240,237	2,060	11,315
<i>Personal ocupado total 2003*</i>	1	267,017	3,166	15,578
<i>Personal operativo 2003*</i>	1	209,537	2,063	10,944
<i>Personal ocupado total 2008*</i>	1	280,158	3,861	18,345
<i>Personal operativo 2008*</i>	1	220,280	2,296	12,271
<i>Acervos de capital 1999**</i>	1	111,145,251	1,021,439	5,806,427
<i>Acervos de capital 2003**</i>	1	136,898,267	953,949	6,035,844
<i>Acervos de capital 2008**</i>	1	246,380,549	1,307,985	9,066,332
<i>Productividad laboral (x) 1998**</i>	0.076	111,336	265	2,633
<i>Productividad laboral (x) 2003**</i>	0.087	95,912	301	2,354
<i>Productividad laboral (x) 2008**</i>	0.054	55,871	302	1,830
<i>Productividad del capital (ρ) 1998</i>	0.001	52.2	0.9	2.3
<i>Productividad del capital (ρ) 2003</i>	0.002	210.8	1.4	7.7
<i>Productividad del capital (ρ) 2008</i>	0.001	90.6	0.9	2.4

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. *Variables valuadas en número de personas.

** Variables valuadas en miles de pesos para cada año a precios de 2003. La productividad del capital está expresada como un índice.

Se excluyeron los municipios que presentan valores agregados negativos, quedando en la muestra 2450 observaciones.

El cálculo de productividad realizado como se mencionó arriba es con arreglo al personal operativo considerado en los censos económicos. Si se tomara el personal ocupado total ello tendría implicaciones en la medición del cambio técnico, es decir, podría haber unidades de análisis que presentaran otro tipo de pauta con arreglo a los movimientos de la curva de eficiencia. En la tabla 3 se consigna la estadística descriptiva del total del personal ocupado para ofrecer una idea de por qué al hacer esta distinción en la valoración del cambio técnico si tiene implicaciones en el análisis y los resultados.

3. Heterogeneidad en la productividad laboral y del capital

En el apartado anterior mediante del cálculo de las curvas de eficiencia para cada municipio (figuras 3 a 5) y la descripción de las variables utilizadas (tabla 2). Fue posible observar la heterogeneidad en los ritmos y pautas de cambio técnico en los municipios del país. No obstante, es necesario el empleo de algunas técnicas estadísticas para robustecer el argumento sobre la presencia de dicha heterogeneidad en los valores observados en las principales variables de análisis, es decir, la productividad laboral y la del capital.

Tabla 5. Convergencia sigma de la productividad laboral y productividad del capital

Año	Productividad laboral	Productividad del capital
1998	1.38	1.07
2003	1.49	1.16
2008	1.40	1.08

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009.

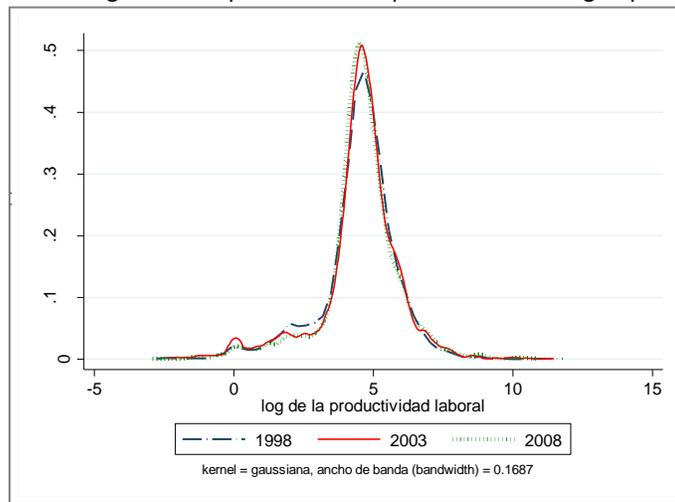
Con base en el cálculo de la convergencia sigma²⁸, no hay evidencia a partir de los resultados observados de la existencia de patrones de igualación de las condiciones técnicas de producción. Para el periodo de análisis 1998-2003 hay un incremento del valor de convergencia sigma en ambas variables y si bien en el periodo 2003-2008 existe un descenso en el valor de ésta la reducción no es en una magnitud considerable para considerar una tendencia sistemática a la eliminación de las desviaciones entre los valores de las productividades para los municipios del país. Esto implica la presencia de patrones divergentes en los niveles de productividad de las unidades de análisis, debido a las condiciones estructurales abordadas en el apartado anterior, es poco probable que en periodos tan cortos de tiempo las regiones que muestran más rezago logren alcanzar los niveles de empleo, capital y producción de las regiones más avanzadas.

En un trabajo de Valdivia (2008) donde presenta un ejercicio para la estimación de desigualdad regional en los municipios del centro de país, con base en una medición de la productividad laboral y el uso de densidades kernel gaussianas muestra la existencia de polarización en la distribución espacial de esta variable. Lo cual plantea la posibilidad de encontrar los mismos patrones si se aplica el mismo método sobre nuestros datos de productividad laboral y del capital. Como en esta investigación consideramos todos los municipios del país y para ciertas actividades que hemos considerado como industriales lo esperado es obtener un tipo de distribuciones kernel distintas en su *forma*, pero con las mismas propiedades²⁹.

²⁸ Para estimar la convergencia sigma se empleó la siguiente fórmula : $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln x_{it} - \mu_t)^2}$, donde x es la productividad laboral y la productividad del capital del municipio i en el tiempo t , y μ es la media de $\ln x_{it}$. Se dice que hay presencia de convergencia sigma si hay reducción en la desviación estándar a lo largo del periodo analizado.

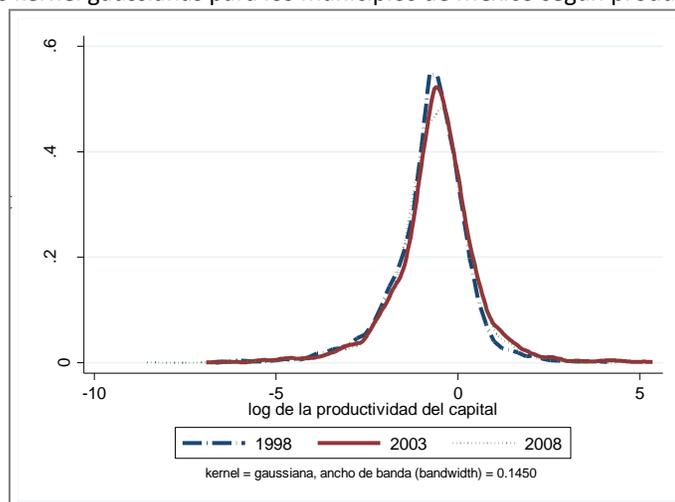
²⁹ Con la existencia de algunas modas.

Figura 6. Densidades kernel gaussianas para los municipios de México según productividad laboral (x)



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. El ancho de banda (o *bandwidth* en inglés) es el óptimo que calcula STATA.

Figura 7. Densidades kernel gaussianas para los municipios de México según productividad del capital (ρ)



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. El ancho de banda (o *bandwidth* en inglés) es el óptimo que calcula STATA.

Las densidades kernel gaussianas para el caso de la productividad laboral (figura 6) presentan la existencia de varias modas, sobre todo en la cola izquierda de las distribuciones, esto refleja en términos de toda la distribución la presencia de un nivel de polarización –aunque no muy pronunciado pues en la distribución dominan los valores medios– de la variable en términos territoriales. La forma leptocúrtica de las densidades muestra una alta concentración de las observaciones hacia el valor central de la distribución de los datos de productividad en términos logarítmicos (4.47 en 1998, 4.48 en 2003 y 4.54 en 2008) y un comportamiento *sin modas* en la parte derecha de la distribución, donde se hallan los valores más altos, esto hace suponer que las regiones con valores altos de la variable de análisis muestran “similitudes” entre sí, es decir, las

regiones industrializadas del país comparten características en sus capacidades tecnológicas en donde niveles de productividad más o menos homogéneos.

En lo referente a las densidades kernel para el caso de la productividad del capital (figura 7) no hay presencia de modas a lo largo de la distribución, muestran una forma leptocúrtica para los tres cortes censales y una asimetría cargada al lado derecho de la distribución, esto refleja que los valores medios están mayormente distribuidos encima de la media. Esto significa que en los municipios del país en donde crecen los acervos o está presente una tendencia a la mecanización es consistente en el tiempo.

4. Autocorrelación espacial en la productividad laboral y del capital

En las investigaciones donde se analiza el cambio tecnológico desde el punto de vista geográfico-regional hay una inquietud por saber si los patrones regionales de comportamiento de las variables se hallan explicados por la presencia de dependencia espacial, es decir, si los valores de cada unidad de análisis están relacionados con los valores que se generan en las unidades vecinas.

Luc Anselin (1988, 1992, 1995, 2000 y 2005) ha investigado ampliamente las propiedades de autocorrelación espacial de las variables³⁰, sobre todo en ciencias sociales. En este caso se aplica el Índice de Moran para el caso de los log (naturales) de la productividad laboral y del capital en los tres cortes censales, con el fin de identificar si existen patrones de dependencia espacial en las variables de estudio. De existir correlación espacial en los datos es probable que los patrones de cambio tecnológico que siguen las unidades de análisis se deban a su contexto geográfico y de interacción entre espacial. Tal vez no sucedan las mismas pautas de cambio tecnológico (enumeradas en el apartado 2.3) en los municipios donde estén presentes dependencias en las productividades laboral y del capital, sin embargo, ello sería indicativo de que espacialmente existen efectos de difusión de la tecnología que inducen modificaciones en las pautas ahorradoras de trabajo y ahorradoras de capital descritas por Foley y Marquetti (2000).

³⁰ Para profundizar técnicamente en los cálculos de autocorrelación espacial ver el anexo metodológico 1.

Tabla 6. Autocorrelación espacial de la productividad laboral y del capital

Índice de Moran Univariado				
	Productividad laboral log (x)		Productividad del capital log (p)	
Año	E(I)	I de Moran	E(I)	I de Moran
1998	-0.0004	0.261	-0.0004	0.107
2003	-0.0004	0.263	-0.0004	0.145
2009	-0.0004	0.235	-0.0004	0.109
Índice de Moran Bivariado tomando log (x) y log (p)				
Año	E(I)		I de Moran	
1998	-0.0004		0.112	
2003	-0.0004		0.148	
2009	-0.0004		0.109	
Tasas de crecimiento				
	productividad laboral (g)		Productividad del capital (c)	
Periodo	E(I)	I de Moran	E(I)	I de Moran
98-03	-0.0004	0.063	-0.0004	0.083
03-08	-0.0004	0.037	-0.0004	0.057
98-08	-0.0004	0.047	-0.0004	0.015

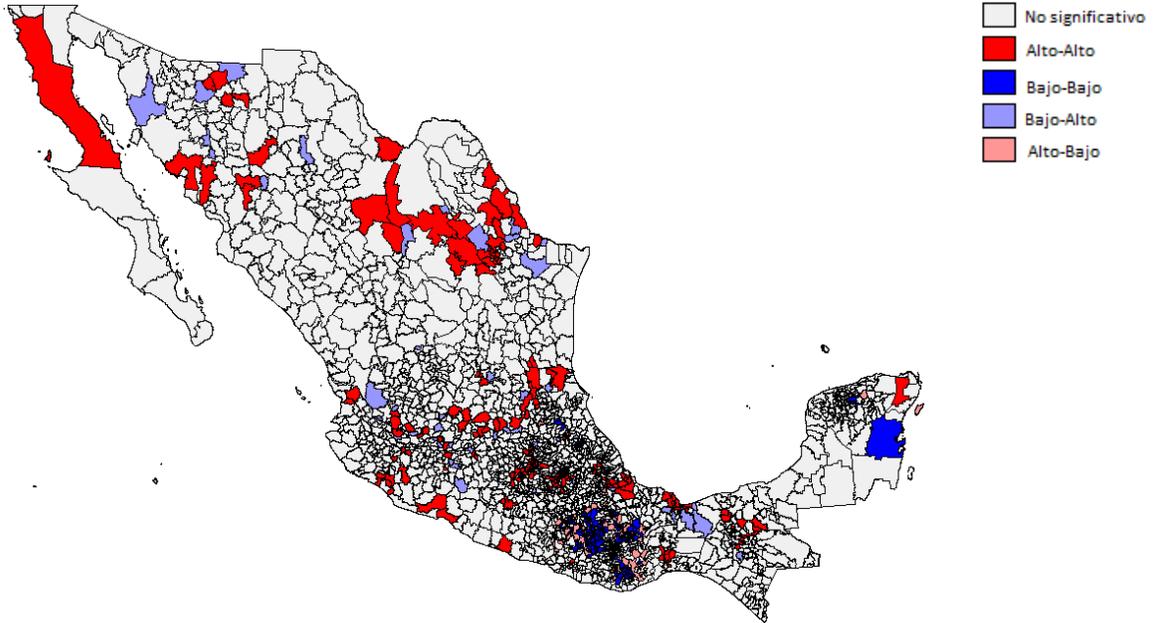
Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación. Para el cálculo de los índices se empleó una matriz de pesos espaciales tipo *queen* de de orden uno. Todos los índices registraron un pseudo p-valor de 0.001. Para el Índice de moran bivariado se toma el log de la productividad laboral contra el rezago del log de la productividad del capital

La tabla 4 aporta información para sustentar la hipótesis de que las condiciones técnicas de producción o la tecnología y su respectiva evolución si guardan relaciones de dependencia espacial. La tecnología de la producción industrial en las unidades de observación depende en algún grado de la tecnología que es utilizada o adoptada en las unidades geográficas contiguas. En términos de la productividad laboral (en los I de Moran univariado) es donde se observa el mayor grado de dependencia espacial, esto significa la existencia de dependencia espacial en el crecimiento de esa variable, así los cambios en la tecnología que hacen crecer la productividad laboral influyen a las unidades vecinas, esta especie de efectos refleja la relevancia de los procesos de interacción espacial en el cambio tecnológico. Con arreglo a la productividad del capital que sería un indicativo del grado de mecanización de la industria, los efectos son menores aunque no por ello se pueda asegurar que no influye en la transformación en las condiciones técnicas de producción.

Al evaluar el Índice de Moran bivariado se encuentra que si existe autocorrelación entre la productividad laboral de una unidad espacial y la productividad del capital de las unidades vecinas, esto es, el nivel de productividad laboral en algún grado está determinado por los niveles de

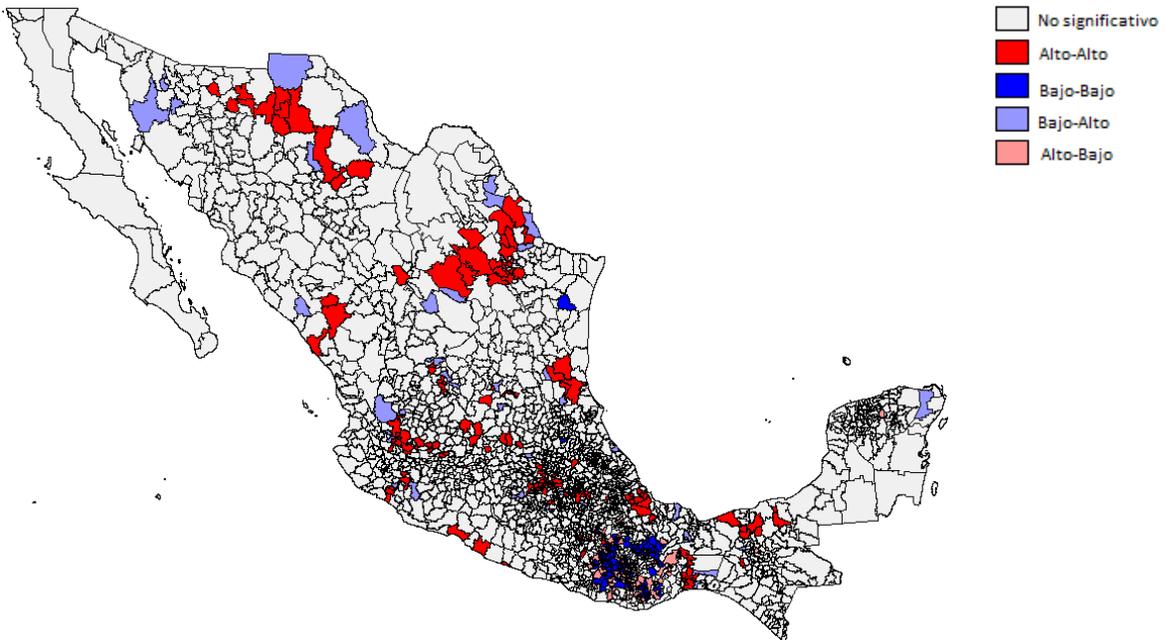
ahorro de trabajo o capital que ocurre en unidades próximas y de la incorporación o desincorporación de acervos de capital en la producción de las mismas.

Figura 8. Autocorrelación espacial de la productividad laboral (1998)



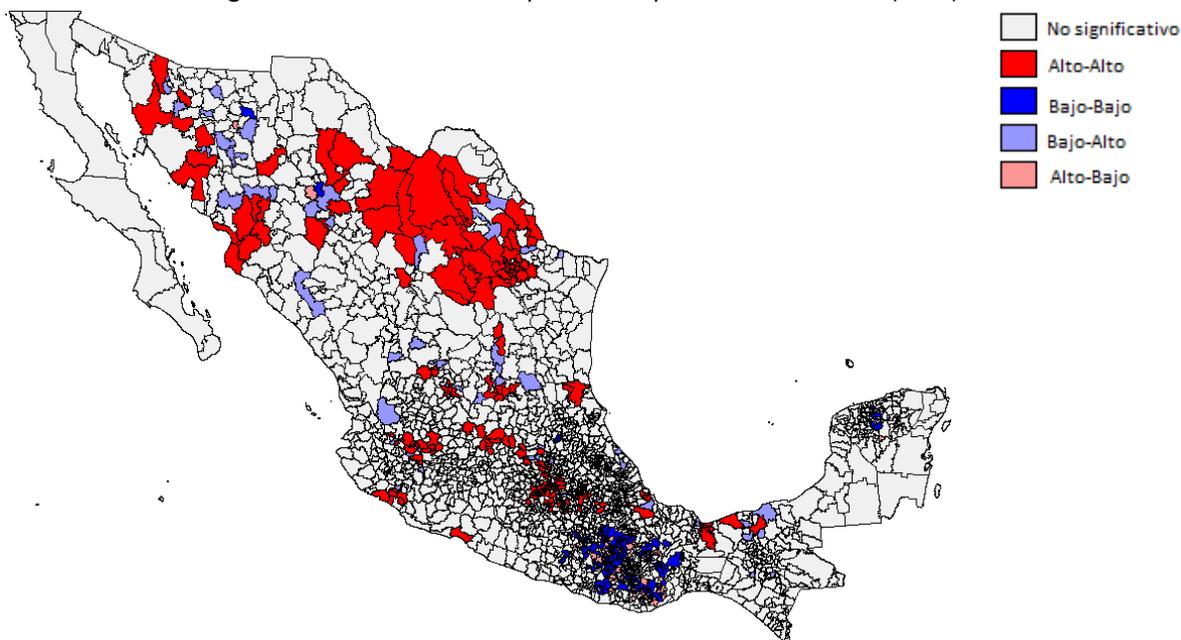
Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI. Censo Económico 1999

Figura 9. Autocorrelación espacial de la productividad laboral (2003)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI. Censo Económico 2004

Figura 10. Autocorrelación espacial de la productividad laboral (2008)

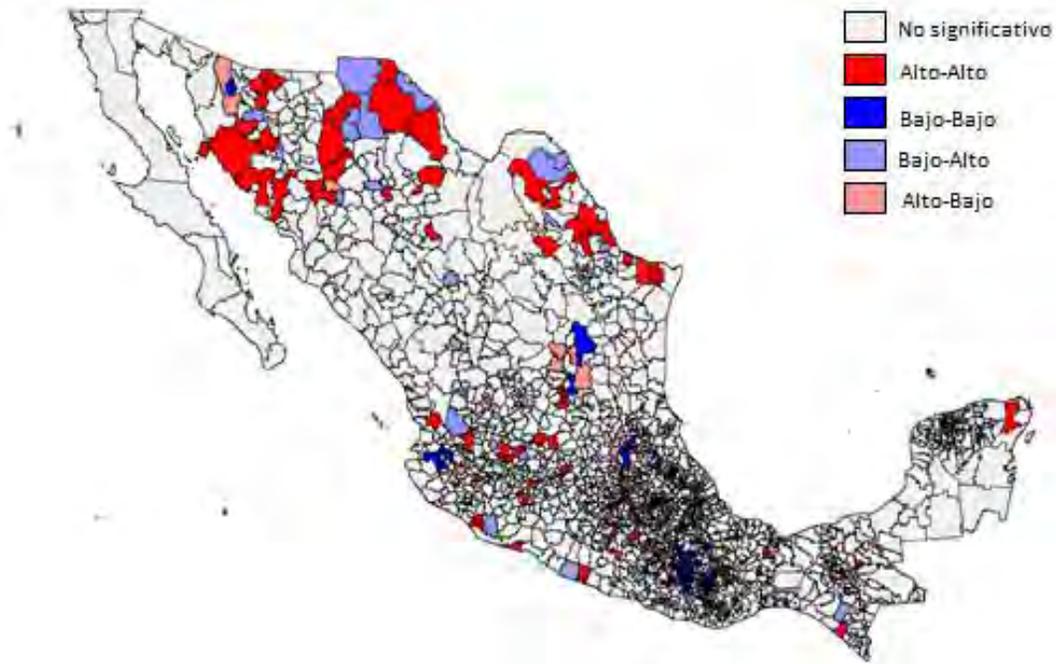


Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI. Censo Económico 2009

En las figuras 8, 9 y 10 se reporta la autocorrelación espacial de la productividad laboral para los municipios del país. Los resultados muestran que las zonas que tradicionalmente son consideradas como industriales, el centro, el bajío y la franja norte del país presentan aglomeraciones con más alta productividad que el promedio del total de los municipios. Llama la atención que sólo en la parte central parece existir congruencia temporal en las aglomeraciones, mientras que en el norte y el bajío son distintas las configuraciones de las concentraciones que presentan valores altos de la variable en cuestión.

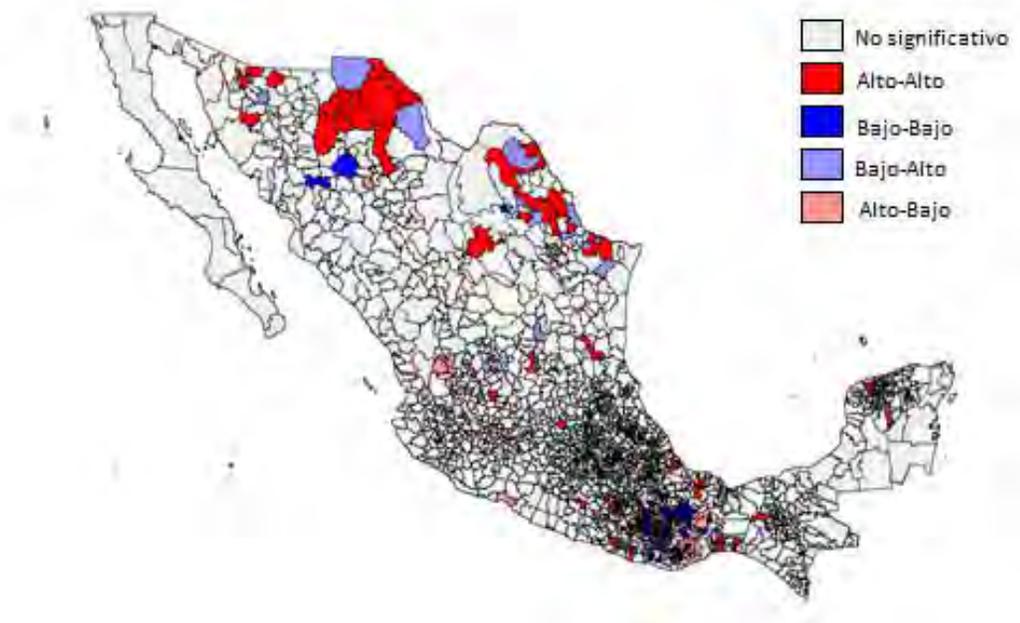
Por otra parte en las figuras 12, 14 y 14 se presentan las agrupaciones (*clusters*) de municipios corresponden con la relación entre la productividad laboral y su relación con la productividad del capital en las unidades vecinas, esto significa que la productividad asociada al trabajo depende en algún grado de los procesos de transformación tecnológica en las unidades vecinas (expresado en la productividad del capital), es decir, ocurre que en ciertas regiones del país el incremento en las capacidades productivas está enlazado en los dos sentidos, esto es, resulta necesaria la presencia de mecanismos de incorporación tecnológica en grupos de municipios que induce el crecimiento de la productividad laboral.

Figura 11. Autocorrelación espacial bivariada: productividad laboral vs productividad del capital (1998)



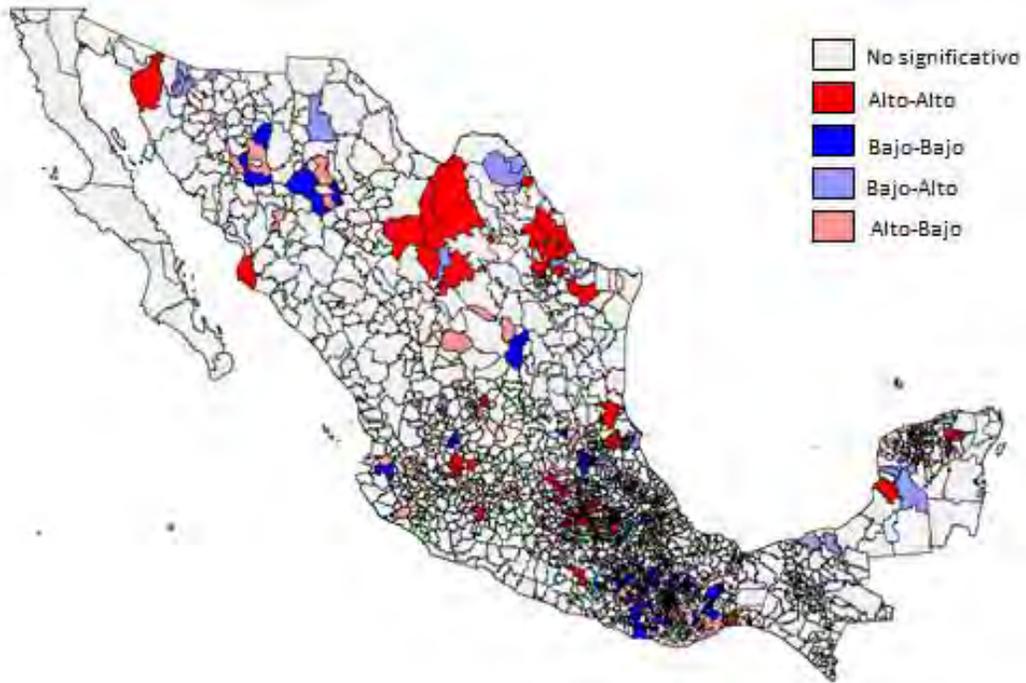
Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI. Censo Económico 1999

Figura 12. Autocorrelación espacial bivariada: productividad laboral vs productividad del capital (2003)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI. Censo Económico 2004

Figura 13. Autocorrelación espacial bivariada: productividad laboral vs productividad del capital (2008)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI. Censo Económico 2009

Podría afirmarse con base en lo observado que son aquellos municipios que presentan valores altos de productividad laboral los que determinan en mayor medida la dinámica tecnológica del país. Hay razones suficientes para pensar que: a) son los lugares en los cuales es más intensa la dinámica de acumulación o de mecanización de las actividades productivas y, b) es donde ocurren los cambios más relevantes en términos de procesos de difusión tecnológica implícita en la evaluación de las pautas de cambio tecnológico del esquema clásico.

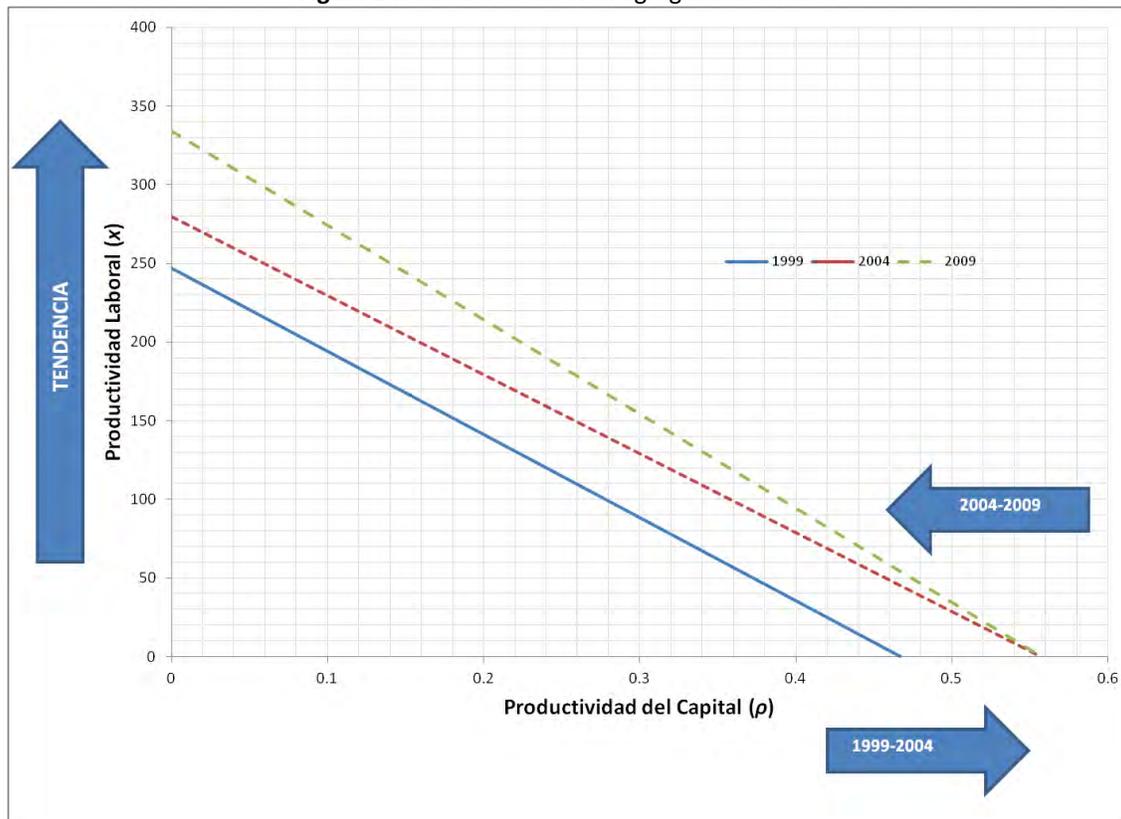
Los hechos estilizados reportados hasta aquí sirven como base para inspirar un modelo de autómatas celulares en donde las *células*, representarían una unidad atomizada (un municipio o un capital individual) y en donde los cambios en el estado del par $\{x_i, \rho_i\}$ y de sus respectivas tasas de crecimiento $\{g_i, c_i\}$, estarían ofreciendo una explicación sobre los mecanismos que inducen el cambio técnico a nivel local y crecimiento económico. A partir de la evidencia encontrada hasta este punto es posible afirmar que una economía en crecimiento efectivamente tiende a generar efectos locales, porque los distintos cambios técnicos guardan una tendencia a agruparse espacialmente. En la siguiente sección trataremos de reproducir estos resultados en una economía artificial generada en un modelo de autómatas celulares con inspiración *clásico-marxista*.

La información obtenida con el análisis de los tipos de cambio técnico por medio del sistema de información geográfica, el análisis de heterogeneidad y de dependencia espacial sugiere la existencia de una amplia diferenciación en la distribución espacial de los tipos de cambio técnico evaluados por medio de la productividad laboral y la productividad del capital. Podría considerarse además que: a) el desarrollo tecnológico no se generaliza de manera súbita, el mejoramiento de la tecnología depende de las decisiones de los empresarios y esto se expresa localmente; b) el espacio geográfico impone barreras a la generalización de la tecnología y el crecimiento económico porque pueden llevarse a cabo procesos de producción similares, pero la posición de una empresa en un contexto empresarial local favorable genera efectos locales difusión tecnológica en algunas ubicaciones y en otras no; c) depende de las condiciones de los ciclos de negocios y de la importancia relativa de ciertas actividades económicas en espacios específicos los tipos de cambio técnico o ausencia de este en otros espacios (El modelo de Richard Goodwin (1967) sobre los ciclos de negocios es una buena explicación de este punto).

Independientemente de un estudio más a profundidad sobre las propiedades de las distribuciones estadísticas asociadas a las variables de estudio, el comportamiento no-normal de las variables también observado en el análisis LISA³¹ sugiere que la trayectoria del cambio tecnológico en los municipios de México dista de presentar una tendencia a la convergencia.

³¹ Por sus siglas en inglés *Local Indicators of Spatial Association*.

Figura 14. Curva de eficiencia agregada en México



Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación.

Como parte final de la exploración de los hechos estilizados aparte de asignar una curva de eficiencia a cada una de las unidades de análisis (como se puede observar en las figuras 3, 4 y 5), lo que podría considerarse como comportamiento agregado (o emergente), son las curvas de eficiencia de toda la actividad industrial de la economía. Independientemente de que cada unidad espacial de análisis pueda presentar un comportamiento diferente a nivel global es observable una trayectoria de la productividad laboral y del capital, para el periodo que está entre los años 1999 y 2004 se presenta una pauta de cambio técnico en transición, mientras que para el periodo 2004-2009 se trata de una pauta global ahorradora de trabajo, esto significa que la economía prácticamente con la misma cantidad de capital fijo y ahorrando trabajo puede generar una cantidad mayor de producción.

5. Análisis estadístico por tipos de cambio técnico

Con base en los resultados presentados hasta el punto anterior es conveniente ampliar el análisis con el fin de explorar las propiedades estadísticas de los datos asociados a cada uno de los tipos de cambio técnico detectados. El objetivo de hacer esta inspección consiste tratar de identificar si

es posible asociar determinados patrones de distribución estadística a la productividad laboral (x) y del capital (ρ) por tipos de cambio técnico.

Tabla 7. Estadística descriptiva de la productividad laboral (x) y del capital (ρ) según tipos de pauta 1999

Medida	Al modo de Marx		Decaimiento		Ahorrador de capital y utilizador de trabajo		Pautas en transición	
	(x)	(ρ)	(x)	(ρ)	(x)	(ρ)	(x)	(ρ)
Media	145.8	1.2	437.4	1.2	209.2	0.5	218.1	0.6
Error típico	22.9	0.2	149.5	0.1	12.0	0.0	87.5	0.1
Mediana	77.8	0.7	148.9	0.7	142.6	0.4	78.6	0.4
Moda	1.0	1.0	126.7	0.6	113.2	0.2	90.9	0.0
Desviación estándar	440.9	3.1	4095.9	2.5	252.5	0.4	2396.5	2.4
Varianza	194349.1	9.6	16776036.7	6.3	63760.8	0.2	5743335.8	5.6
Curtosis	213.6	204.5	719.4	93.9	24.8	33.9	676.3	342.1
Coefficiente de asimetría	13.4	13.1	26.6	8.7	4.3	4.2	25.6	17.9
Rango	7505.6	52.2	111335.5	34.1	2281.6	4.9	64079.6	49.8
Mínimo	0.2	0.0	0.9	0.0	0.7	0.0	0.1	0.0
Máximo	7505.8	52.2	111336.4	34.1	2282.3	4.9	64079.7	49.8
Suma	53964.0	440.5	328486.5	921.7	92488.5	204.7	163823.4	459.4
N° de municipios	370	370	751	751	442	442	751	751

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censo Económico 1999. **Nota:** se excluyen los otros tipos de cambio técnico (ver tabla 2), a razón de que son muy pocas las unidades espaciales que presentan los mismos y de que esas economías municipales no tienen una representatividad sustancial en términos de valor agregado.

La heterogeneidad de las unidades de análisis es amplia, los datos muestran que independientemente del tipo de cambio técnico asociado a las observaciones. Es posible hacer un par de consideraciones de entrada, la primera, que los datos de estas distribuciones comparten la característica de tener una curtosis muy elevada, esto significa que la forma de las distribuciones es leptocúrtica, de tal suerte que las productividades (laboral y del capital), presentan sesgos por la presencia de observaciones muy elevadas en algunas unidades espaciales, así mismo el coeficiente de asimetría para todos los datos es positivo, ello sugiere una concentración de los valores a la derecha de la media, esto es, hay muchos valores pequeños en las muestras combinados con valores extremos muy altos (tabla 6), lo cual puede deberse a altos niveles de concentración económica de los sectores de estudio en regiones determinadas.

Tabla 8. Estadística descriptiva de la productividad laboral (x) y del capital (ρ) según tipos de pauta 2004

Medida	Al modo de Marx		Decaimiento		Ahorrador de capital y utilizador de trabajo		Pautas en transición	
	(X)	(ρ)	(X)	(ρ)	(X)	(ρ)	(X)	(ρ)
Media	121.6	0.5	610.3	2.9	221.8	0.6	121.6	0.5
Error típico	6.5	0.0	144.8	0.5	22.0	0.0	6.5	0.0
Mediana	74.5	0.4	142.6	0.8	122.6	0.4	74.5	0.4
Moda	1.0	0.5	99.0	0.9	6.5	#N/A	1.0	0.5
Desviación estándar	188.3	0.5	4089.4	13.2	422.1	0.5	188.3	0.5
Varianza de la muestra	35452.3	0.3	16723244.4	175.5	178133.2	0.2	35452.3	0.3
Curtosis	49.3	35.6	386.4	131.3	85.6	11.7	49.3	35.6
Coefficiente de asimetría	5.6	4.6	18.0	10.5	8.0	2.7	5.6	4.6
Rango	2470.9	6.0	95910.8	239.7	5677.1	3.7	2470.9	6.0
Mínimo	0.1	0.0	0.9	-28.9	0.3	0.0	0.1	0.0
Máximo	2471.0	6.0	95911.8	210.8	5677.5	3.7	2471.0	6.0
Suma	101424.6	397.0	487050.3	2325.7	81607.4	205.6	101424.6	397.0
N° de municipios	834	834	798	798	368	368	834	834

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censo Económico 2004. **Nota:** se excluyen los otros tipos de cambio técnico (ver tabla 2), a razón de que son muy pocas las unidades espaciales que presentan los mismos y de que esas economías municipales no tienen una representatividad sustancial en términos de valor agregado.

Si se observa el comportamiento de los datos de las productividades para el año 2004 con arreglo a los tipos de cambio técnico la distribución de los datos es leptocúrtica, es decir, la mayoría de las unidades de observación están alrededor de los valores centrales de la distribución combinado con coeficientes de asimetría altos –independientemente del tipo de cambio técnico asociado a las variables de productividad–, ello sugiere la presencia de un sesgo de los datos a la derecha de media y la existencia de pocas observaciones en la parte izquierda, igualmente hay indicios de concentración industrial en pocos municipios del país, basta con observar la tendencia de los valores mínimos, máximos y de las medidas de dispersión (tabla 7).

Tabla 9. Estadística descriptiva de la productividad laboral (x) y del capital (ρ) según tipos de pauta 2009

Medida	Al modo de Marx		Decaimiento		Ahorrador de capital y utilizador de trabajo		Transición	
	(x)	(ρ)	(x)	(ρ)	(x)	(ρ)	(x)	(ρ)
Media	357.8	0.5	185.9	0.5	112.4	1.0	471.4	1.4
Error típico	96.4	0.0	80.1	0.1	6.4	0.1	66.5	0.1
Mediana	121.8	0.4	68.9	0.3	79.4	0.7	153.9	0.8
Moda	179.5	N/A	3.3	0.0	75.0	N/A	525.8	N/A
Desviación estándar	1992.4	0.7	2123.5	1.4	136.5	1.1	1955.2	3.6
Varianza de la muestra	3969851.8	0.4	4509090.9	1.9	18629.9	1.2	3822838.5	13.1
Curtosis	333.7	167.5	676.5	514.9	26.3	60.3	162.9	431.1
Coefficiente de asimetría	17.5	10.8	25.8	21.3	4.4	6.0	12.0	18.4
Rango	38960.6	11.2	55870.5	34.4	1225.6	15.0	31955.8	90.6
Mínimo	1.2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.1	0.0
Máximo	38961.8	11.2	55870.5	34.4	1226.1	15.0	31956.9	90.6
Suma	152777.7	221.0	130658.5	335.2	50445.4	450.8	407759.7	1216.8
N° de municipios	427	427	703	703	449	449	865	865

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censo Económico 2009. **Nota:** se excluyen los otros tipos de cambio técnico (ver tabla 2), a razón de que son muy pocas las unidades espaciales que presentan los mismos y de que esas economías municipales no tienen una representatividad sustancial en términos de valor agregado.

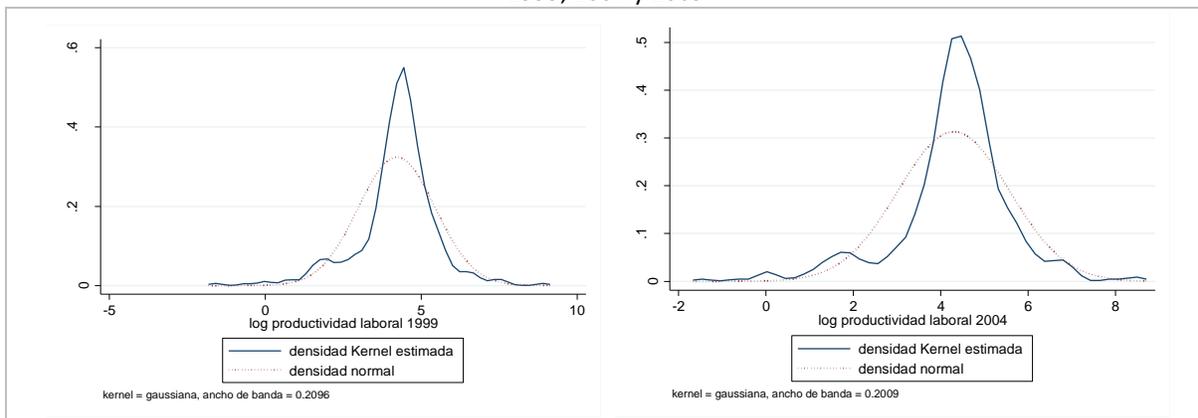
En el caso de las observaciones de 2009 la regularidad empírica es consistente con los puntos anteriores (1999 y 2004), las variables que permiten el estudio del cambio técnico en los municipios presentan distribuciones leptocúrticas sesgadas hacia la parte izquierda de la media (tabla 8). Si se atiende a las medidas de dispersión y el tamaño de los valores máximos puede deducirse que la naturaleza de las distribuciones refleja el hecho de que los patrones tecnológicos en la geografía municipal se caracteriza por un grupo muy grande de unidades de análisis con desempeño bajo (o medio) de las variables de productividad con unos pocos municipios que tienen una estructura industrial robusta o al menos lo suficientemente consolidada como para pensar en la existencia de concentración económica de las actividades productivas objeto de nuestro análisis.

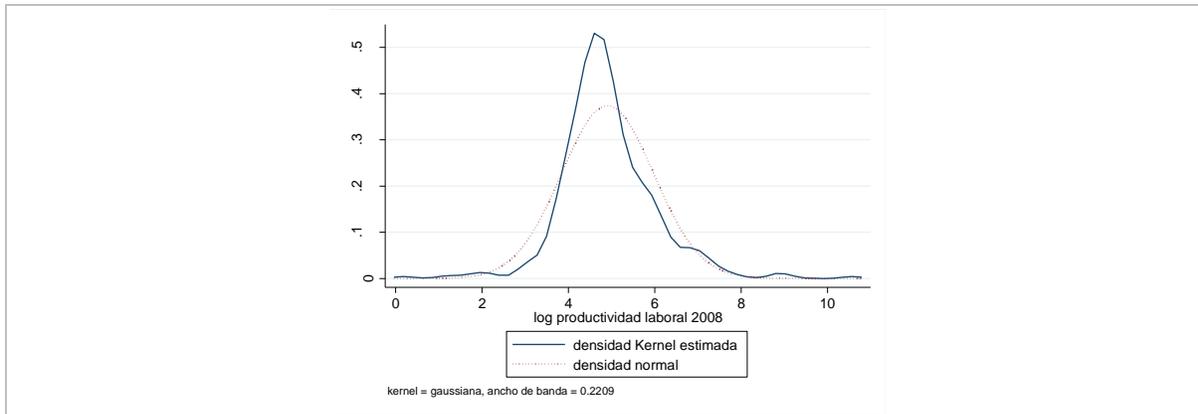
A pesar de que aún no se han estudiado a profundidad las propiedades de las distribuciones estadísticas en presencia de fenómenos de dependencia espacial (Rey y Janikas, 2005), en estudios regionales el reconocimiento de la forma de las distribuciones es de particular importancia pues da una idea de las diferencias entre las unidades de estudio, para este caso al analizar el

comportamiento de las distribuciones estadísticas de la productividad laboral y del capital puede contarse con una idea de cómo las regiones tienen diferentes capacidades por medio de estas ocurren diferentes resultados en la producción, puede parecer hasta cierto punto trivial, pero dependiendo de cómo ciertos municipios cuentan con mayores potencialidades productivas es como se hace posible la construcción de una respuesta robusta a la pregunta de por qué algunas regiones crecen y son más prosperas mientras en otras ocurre lo contrario.

En este caso en específico el estudio de los patrones tecnológicos por medio de la distribución de los valores de la productividad laboral y del capital sugieren la existencia de procesos de crecimiento endógeno regional –en aquellos lugares donde hay presencia de aglomeración o *clusterización* de las productividades–, mientras que existe en la geografía tecnológica del país una amplia extensión de municipios en donde los procesos productivos no están lo suficientemente consolidados como para generar efectos de dependencia y detonar mecanismos de crecimiento, pues la dinámica tecnológica observada por medio del comportamiento de las variables mencionadas no presenta una dirección hacia la formación de concentraciones con valores altos de las variables estudiadas.

Figura 15. Distribuciones Kernel de la productividad laboral asociadas al cambio técnico al modo de Marx 1999, 2004 y 2009





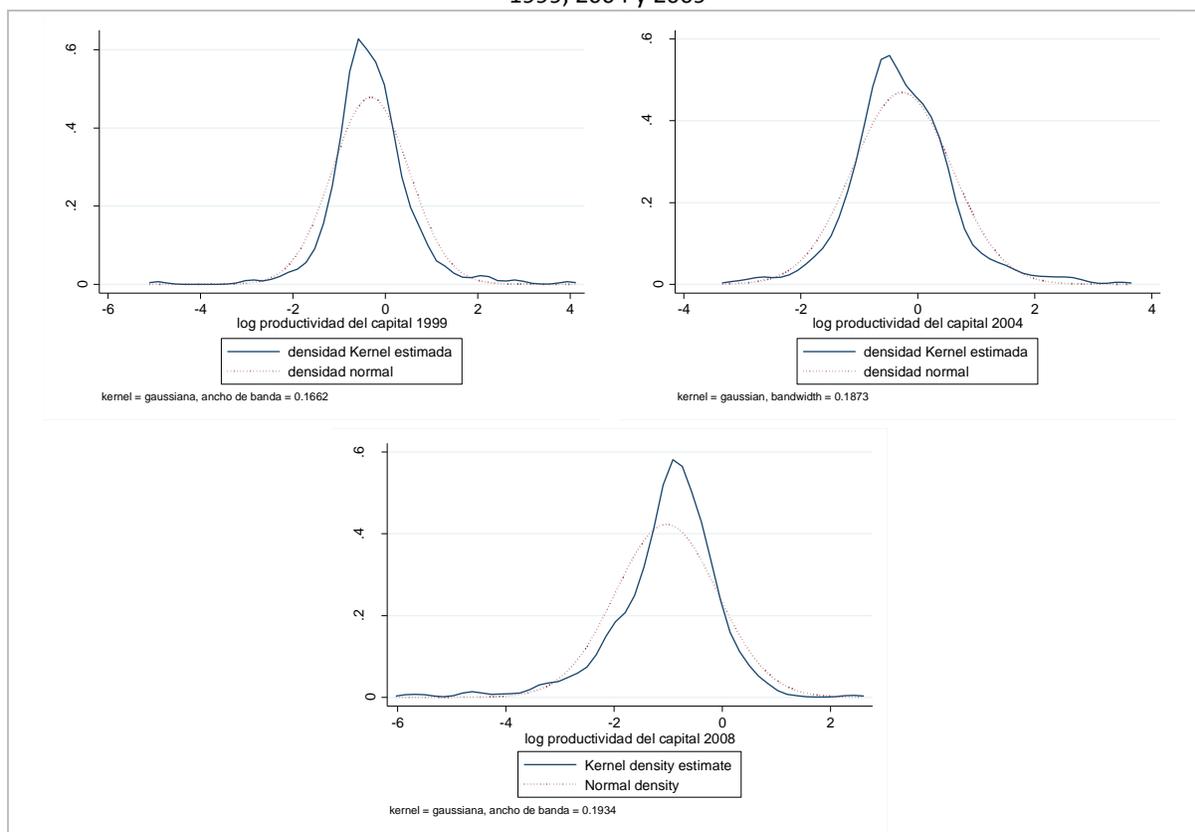
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: los anchos de banda de las distribuciones estimadas es el calculado por defecto en STATA, es preciso observar que es entre sí comparable.

Un aspecto relevante de las estimaciones de densidad Kernel gaussianas (figura 16), es la posibilidad de asociar a su resultado fluctuaciones positivas y negativas de la productividad³², en 1999 la densidad de observaciones en términos logarítmicos corre en un rango de 0 a 0.6, en contraste con los años 2004 y 2009 donde las distribuciones van de 0 a 0.5, si el límite máximo ha disminuido –independientemente de la inspección de los valores absolutos–, podría afirmarse que la distribución de la productividad laboral no cambia de manera significativa en el espacio o al menos en términos de los valores presentes en la pauta asociada a los cambios asociados al modo de Marx.

Al observar la forma de las distribuciones es posible decir que la productividad laboral asociada a los tipos de cambio técnico al modo de Marx presenta una forma peculiar, leptocúrticas con sesgos hacia la parte izquierda de la distribución, ello conforma la presencia de concentraciones industriales muy altas combinadas con unidades espaciales con valores cercanos a la media e incluso por debajo de la misma.

³² Aunque es preciso observar los valores absolutos de las variables, se identifica que los valores máximos y mínimos por tipo de cambio técnico no son parecidos para los tres cortes censales de estudio (ver tablas: 6, 7 y 8).

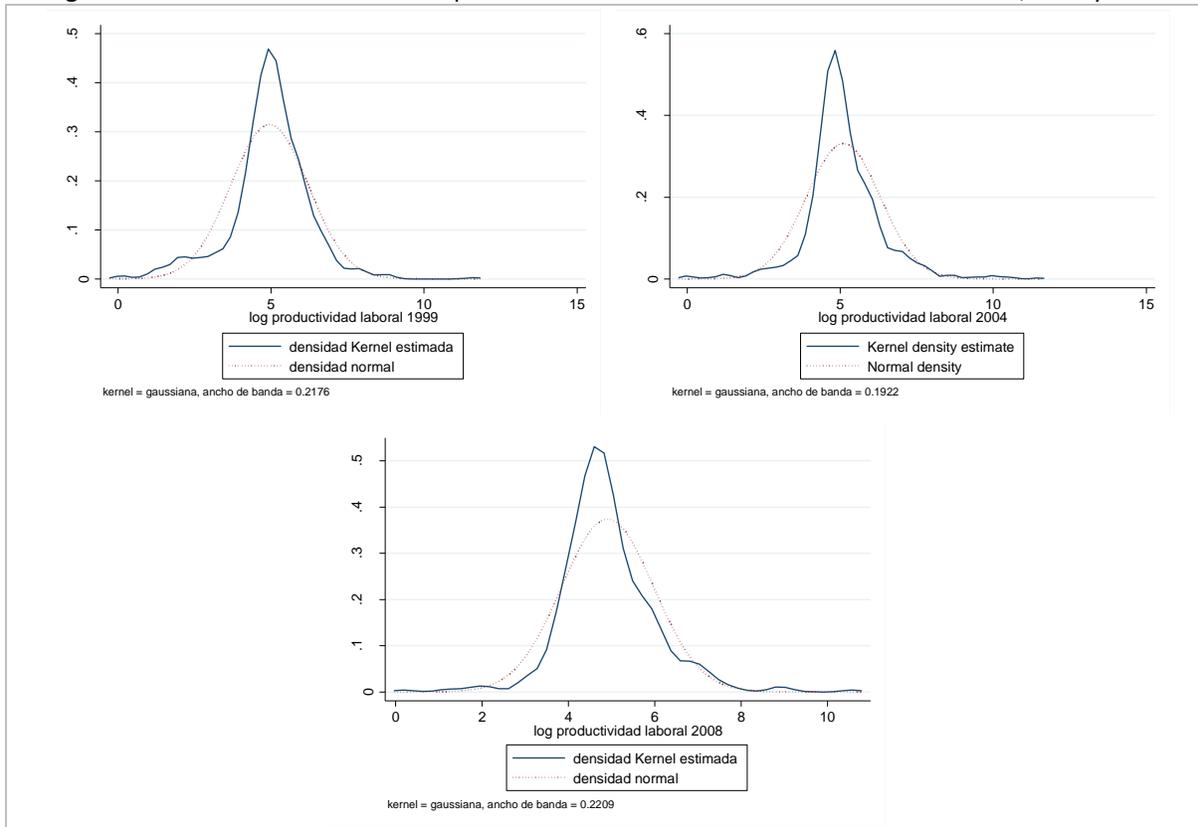
Figura 16. Distribuciones Kernel de la productividad del capital asociadas al cambio técnico al modo de Marx 1999, 2004 y 2009



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: los anchos de banda de las distribuciones estimadas es el calculado por defecto en STATA, es preciso observar que es entre sí comparable.

En el caso de la distribución de los datos de productividad del capital para los tres cortes de análisis no puede conformarse un comportamiento similar, aunque los rangos logarítmicos de la productividad del capital se encuentran de 0 a .6 para los tres casos, resulta interesante la forma de las distribuciones con colas anchas (concentrados en valores altos y bajos), además que en 1999 y 2009 el sesgo de la distribución se mueve de izquierda a derecha, ello significa un cambio en la concentración de los valores, obsérvese que para el último año el rango de la log productividad va de -6 a 2, en contraste con los rangos de 1999 y 2004, es de esperarse que si se analiza el cambio técnico usando distribuciones Kernel se observe este comportamiento pues la lógica teórica implica una disminución paulatina de la productividad del capital cuando la evolución es en el sentido de Marx.

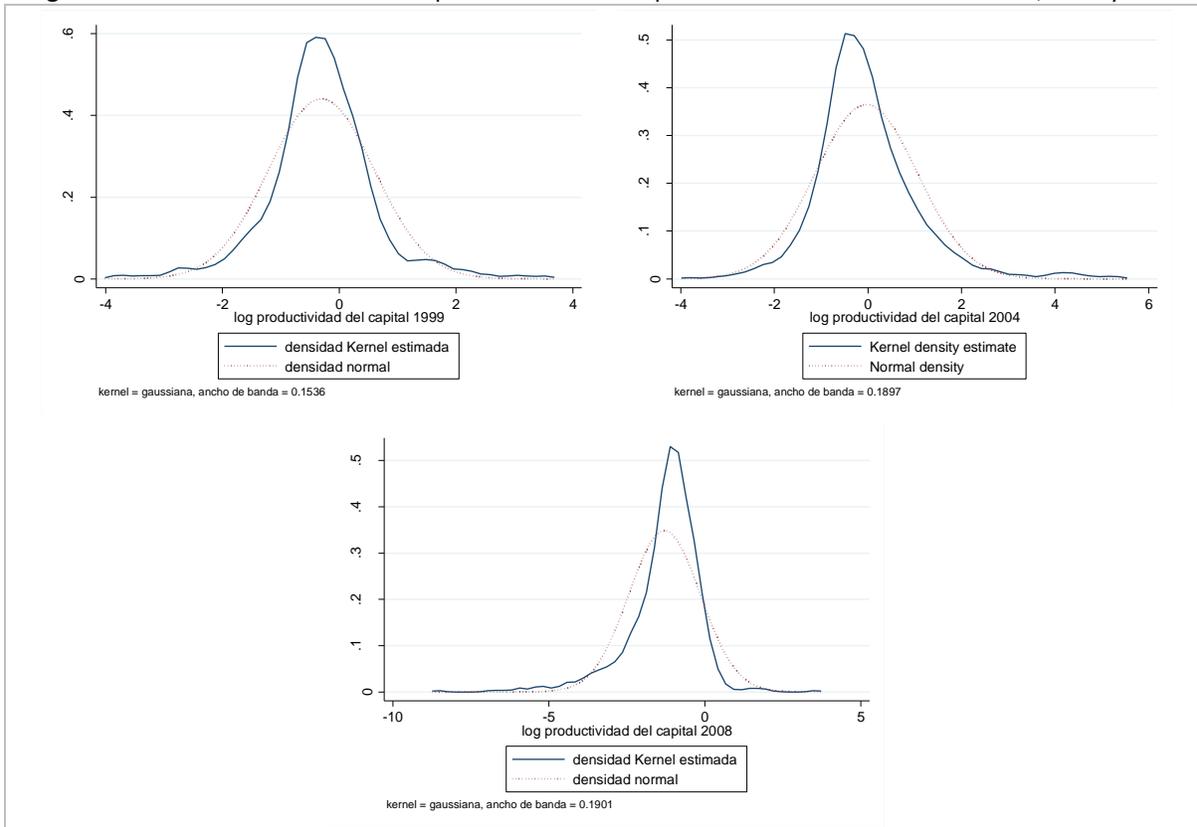
Figura 17. Distribuciones Kernel de la productividad laboral asociadas al decaimiento 1999, 2004 y 2009



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: los anchos de banda de las distribuciones estimadas es el calculado por defecto en STATA, es preciso observar que es entre sí comparable.

Con respecto al comportamiento estadístico de la productividad laboral en los tipos de cambio que están asociados a un fenómeno en donde retrocede la productividad laboral y del capital, para la primera cómo es posible observar en las distribuciones Kernel de los tres años (1999, 2004 y 2009), la densidad de los datos es similar con un sesgo hacia el lado izquierdo y con colas anchas, ello indica la presencia de valores extremos en ambos lados de la distribución, a partir de este comportamiento y comparando con las distribuciones asociadas al cambio técnico al modo de Marx puede decirse que la regularidad empírica consiste en decir que independientemente de la pauta de cambio técnico tendremos distribuciones de colas anchas pues para cada uno de ellos conviven valores pequeños y muy grandes en los valores de las productividades.

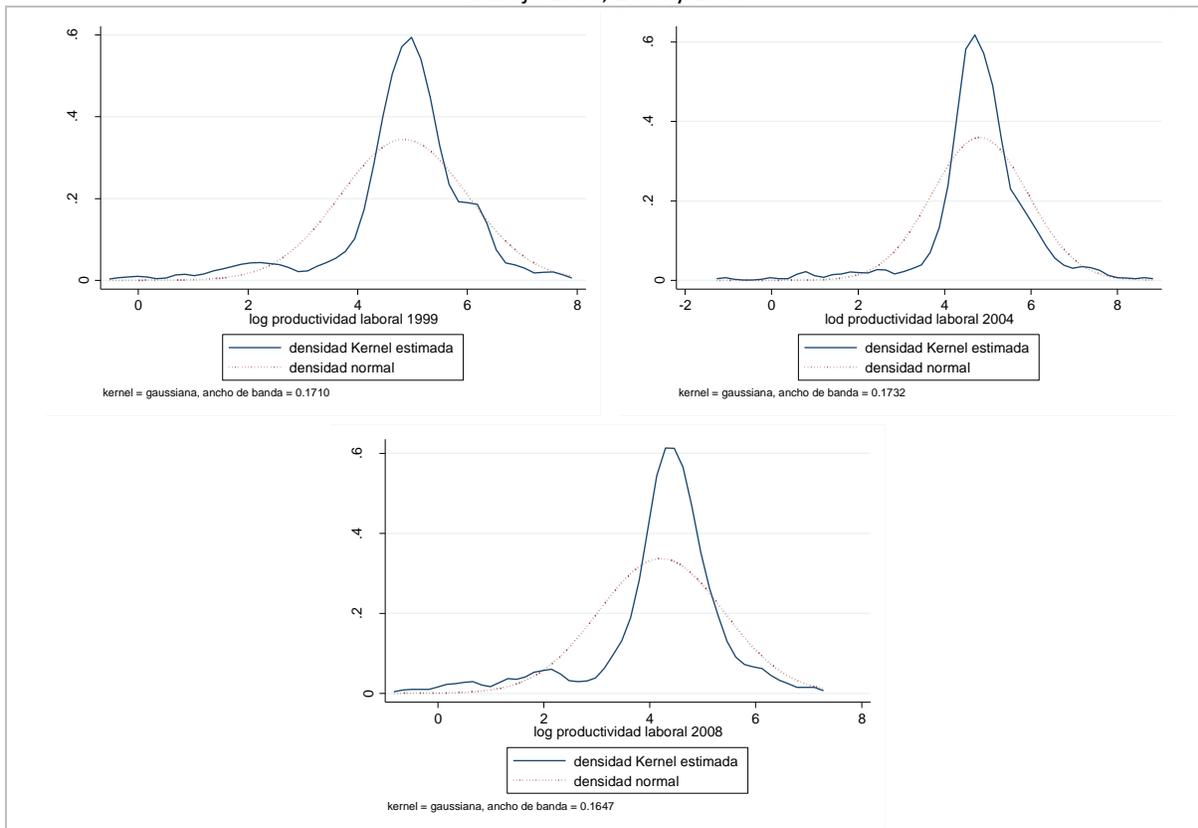
Figura 18. Distribuciones Kernel de la productividad del capital asociadas al decaimiento 1999, 2004 y 2009



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: los anchos de banda de las distribuciones estimadas es el calculado por defecto en STATA, es preciso observar que es entre sí comparable.

La productividad del capital asociada a la pauta de cambio que hemos llamado decaimiento pues implica una reducción de la productividad laboral a pesar de que existe un proceso de acumulación –es lo que explica la caída paralela de la productividad del capital–, igualmente presenta distribuciones de tipo leptocúrticas, donde hay una cantidad considerable de unidades espaciales con valores cercanos a la media pero con concentraciones de municipios en las colas, es decir, concentraciones amplias de valores altos de productividad del capital y de valores muy pequeños de la variable, los primeros sugerirían los lugares con mayores potencialidades industriales y los segundos un bajo desempeño económico.

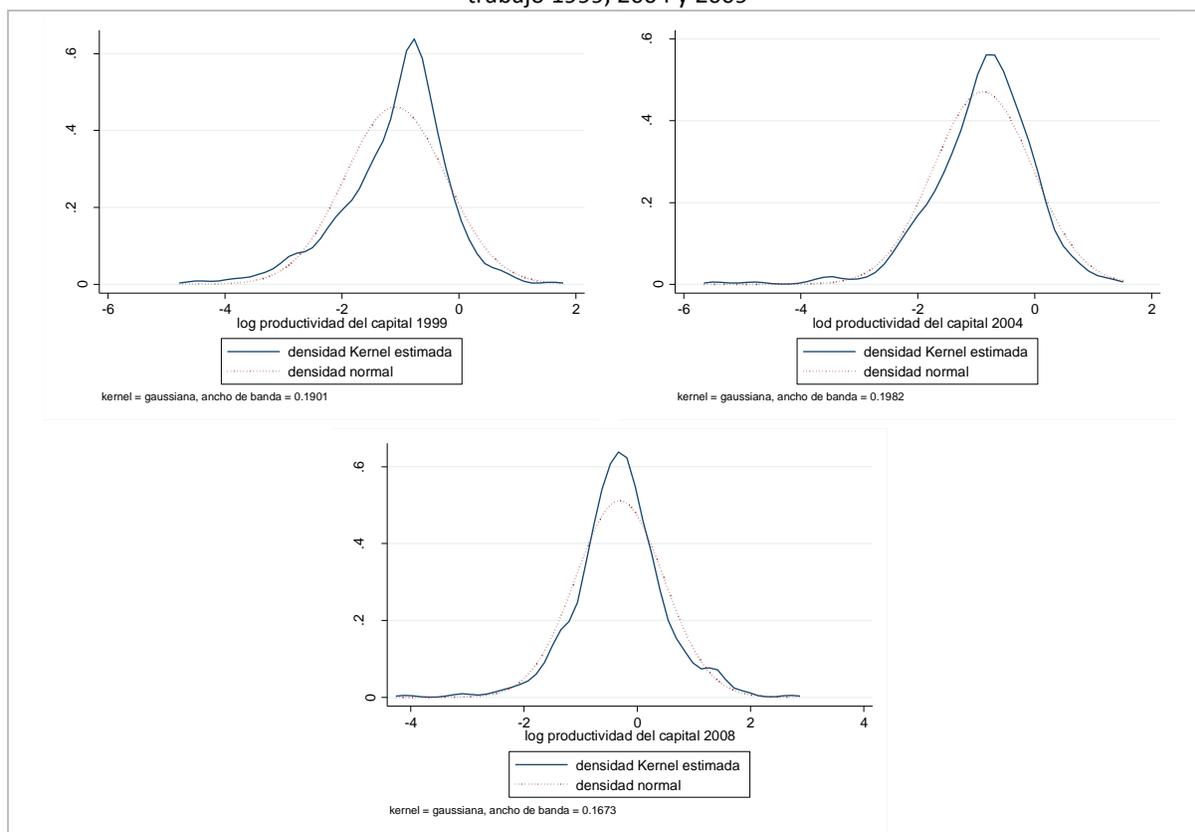
Figura 19. Distribuciones Kernel de la productividad laboral asociadas al ahorro de capital y utilización de trabajo 1999, 2004 y 2009



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: los anchos de banda de las distribuciones estimadas es el calculado por defecto en STATA, es preciso observar que es entre sí comparable.

En cuanto al tipo de cambio que ahorra capital y utiliza trabajo, es decir, con tasas de crecimiento de la productividad del capital positivas y tasas de productividad laboral negativa, las distribuciones, aparte de presentar multimodalidad tienen un sesgo claro hacia la parte derecha, esto se explica porque para este tipo de cambio técnico los valores logarítmicos de la productividad laboral presentan la cola más ancha en la parte izquierda, esto apunta a que para este tipo de cambio técnico aparte de tener muchas observaciones cerca de los valores medios, hay una cantidad considerable de municipios que presentan bajos valores de productividad bajo esta lógica de cambio tecnológico, podría extraerse una regularidad empírica consistente en decir que para este tipo de cambio tecnológico corresponden municipios con bajas potencialidades de generación de riqueza debido a los bajos niveles de productividad laboral.

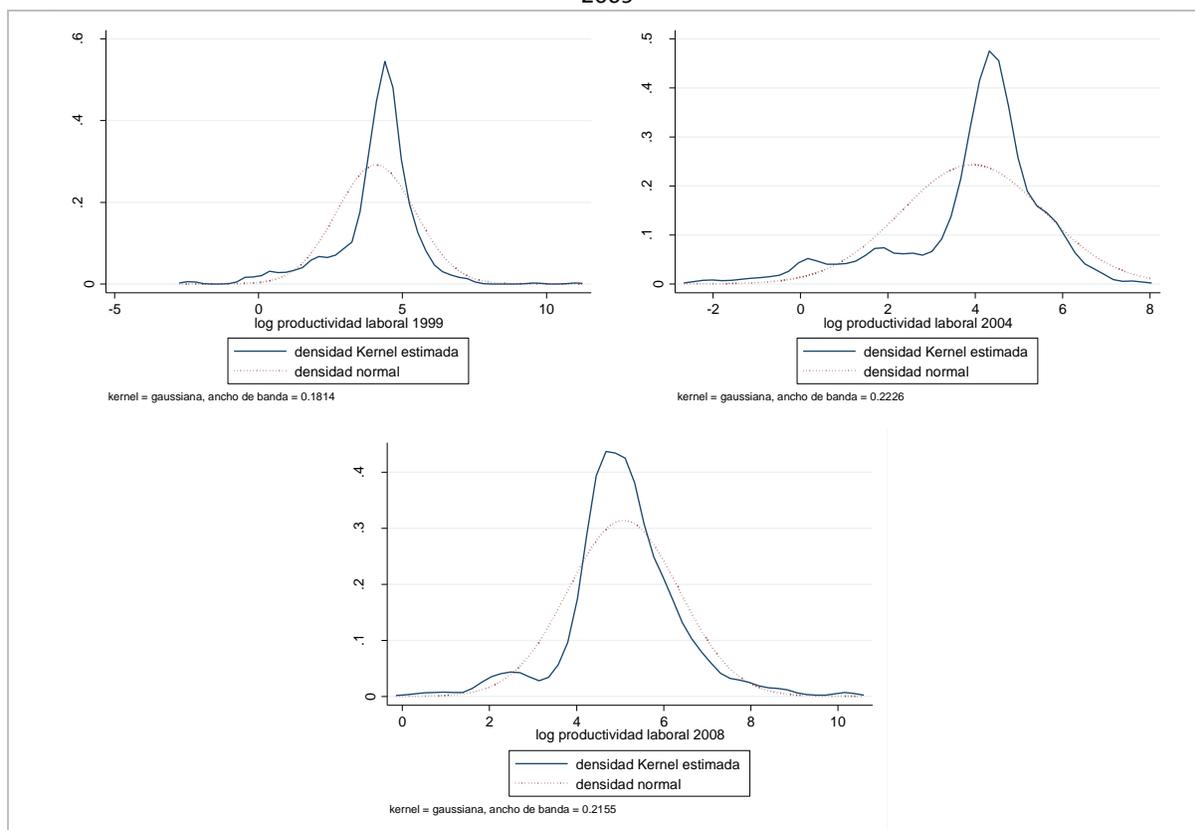
Figura 20. Distribuciones Kernel de la productividad del capital asociadas al ahorro de capital y utilización de trabajo 1999, 2004 y 2009



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: los anchos de banda de las distribuciones estimadas es el calculado por defecto en *STATA*, es preciso observar que es entre sí comparable.

Para el caso de la distribución de la productividad del capital de los municipios que presentan un tipo de cambio ahorrador de capital con utilización de trabajo, la historia es que la distribución presenta una evolución peculiar, aunque debe tomarse en consideración que no son las mismas unidades de análisis de un punto de observación a otro, la tendencia observada es a reducir los sesgos hacia la parte derecha de la distribución presente para los años de 1999 y 2004; en 2008 se tiene una distribución más inclinada hacia los valores medios. Se confirma la regularidad empírica de que los datos asociados al cambio técnico evaluados desde el punto de vista de la productividad del capital presentan distribuciones leptocúrticas con colas anchas, producto de la concentración de las actividades industriales evaluadas.

Figura 21. Distribuciones Kernel de la productividad laboral asociadas a pautas en transición 1999, 2004 y 2009

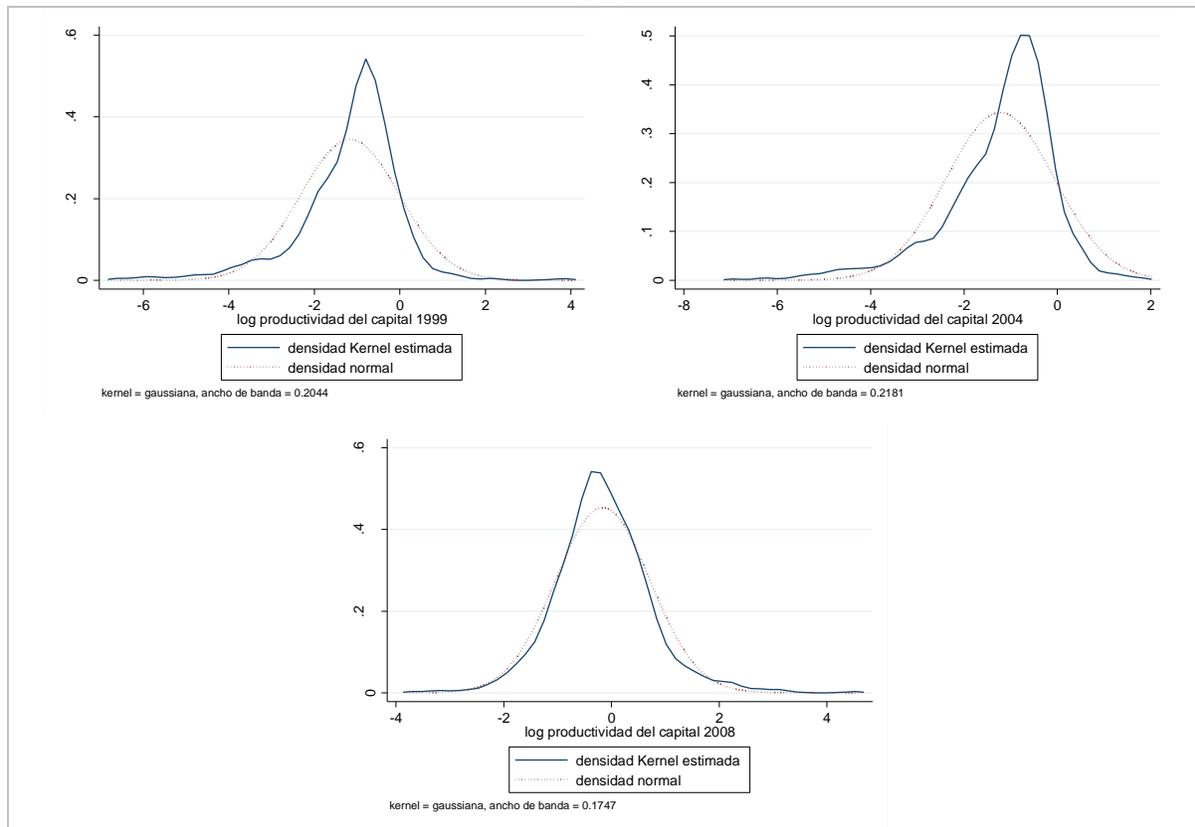


Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: los anchos de banda de las distribuciones estimadas es el calculado por defecto en STATA, es preciso observar que es entre sí comparable.

Según Foley (2000), puede decirse que un tipo de pauta de cambio técnico en transición se caracteriza por la ocurrencia de un aumento de los niveles de producción locales, pudiendo darse combinaciones entre incrementos o disminuciones de las cantidades de mano de obra, así mismo incrementos o disminuciones en la utilización de capital fijo, pues tanto para el caso de la productividad laboral como la productividad del capital existe una tasa de crecimiento positiva. Las formas de la densidad Kernel para la log productividad laboral apuntan a tener una combinación compleja de valores pequeños en donde inclusive se puede identificar multimodalidad (en específico para los años 1999 y 2004), para el caso de 2009 el patrón difiere solo en términos de la alineación de los valores hacia la parte central de la distribución, aunque es persistente la presencia de modas en la parte izquierda de la distribución, ello significa que este tipo de cambio se asocia con concentraciones de municipios en donde están ocurriendo fenómenos de elevación de la productividad laboral, la explicación de esto no es clara de entrada como el propio Foley lo reconoce, pero al estar presente este tipo de patrón histórico de evolución tecnológica hay indicios para argumentar que en las economías locales existen patrones de crecimiento no

atribuibles a una sola característica, como puede ser solamente el aumento *per se* de la productividad laboral o la del capital.

Figura 22. Distribuciones Kernel de la productividad laboral asociadas a pautas en transición 1999, 2004 y 2009



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: los anchos de banda de las distribuciones estimadas es el calculado por defecto en STATA, es preciso observar que es entre sí comparable.

Finalmente en el análisis de las distribuciones Kernel por pauta de cambio técnico y tipo de productividad se observa el comportamiento de la densidad de los datos de la productividad del capital en valores logarítmicos asociados a las pautas en transición las distribuciones en este caso son multimodales, leptocúrticas y con colas anchas. Del análisis hecho en este punto sobre la forma estadística de las distribuciones de la productividad asociadas a los patrones de cambio tecnológico puede conformarse que independientemente del tipo de evolución tecnológica que presentan los municipios los patrones de distribución geográfica de la producción industrial forman distribuciones con colas anchas, esta regularidad implica en términos de la geografía tecnológica del país que la dinámica de cambio en la productividad del capital y laboral de alguna manera está supeditada a un esquema o estructura de concentración espacial de la industria, conviven en cada tipo de cambio técnico muchas unidades ubicadas por debajo de la media, con

muchas agrupadas en los valores centrales de las distribuciones y valores extremos muy por encima de los valores medios.

6. El cambio técnico en las ciudades

Con el objetivo de hacer un análisis más a detalle del cambio técnico y entre unidades espaciales que comparten características en términos de estructura económica y demográfica, en este apartado se presenta un ejercicio de análisis estadístico aplicado al caso de los municipios metropolitanos del país, bajo el supuesto de que las ciudades son *más comparables entre sí* pues su estructura industrial no es tan divergente como cuando se comparan municipios donde predominan actividades rurales o donde las concentraciones poblacionales no son tan relevantes (como se vio en los apartados anteriores).

El primer hecho a contrastar con los resultados obtenidos para todos los municipios del país es que para el caso de los municipios metropolitanos solo se presentan cuatro tipos de cambio tecnológico evaluados en los periodos 1999-2004, 2004-2009 y en un periodo de diez años 1999-2009, a saber: 1) ***Al modo de Marx***, 2) ***Decaimiento***, 3) ***Ahorrador de capital y utilizador de trabajo***, y 4) ***Pautas en transición***³³, este hallazgo implica que es común a la producción industrial de las ciudades presentar una evolución tecnológica en estos sentidos.

Tabla 10. Representatividad de la industria de los 345 municipios metropolitanos

<i>Año</i>	<i>Valor agregado industrial en el país</i>	<i>Valor agregado en los municipios metropolitanos</i>	<i>Porcentaje</i>
1999	1,250,021,326	1,012,735,310	81%
2004	1,416,798,687	1,127,219,974	80%
2009	1,885,144,201	1,482,982,214	79%

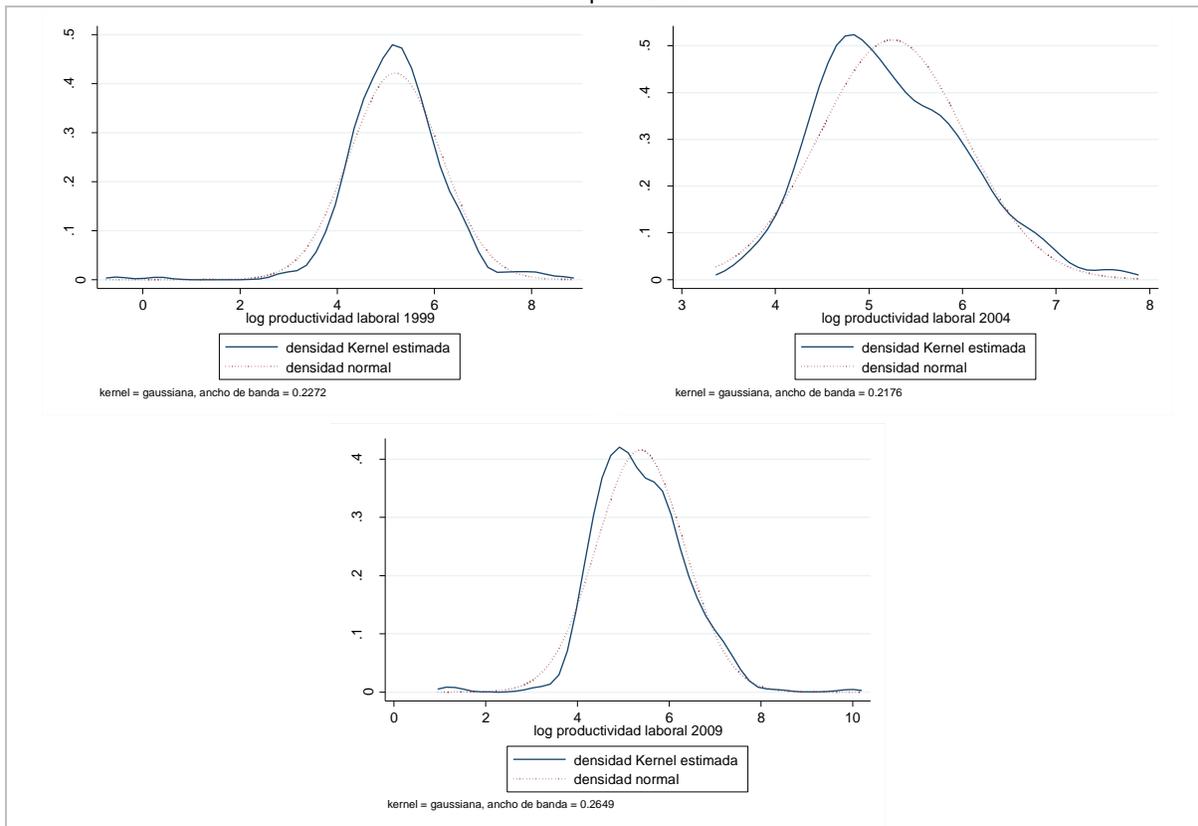
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009.

Hasta el apartado anterior se había puesto atención en el análisis de todos los municipios del país, sin embargo, vista la representatividad de los municipios metropolitanos que es del 80% del valor agregado industrial del país (de acuerdo a nuestra clasificación de sectores productivos), vale la pena hacer una inspección del comportamiento de las variables de análisis para estos municipios en particular. Llama la atención que en 10 años solo ha caído dos puntos porcentuales

³³ Ver tabla 2 para abundar en el significado de cada una de las pautas.

la participación de estos municipios en términos del valor agregado a nivel nacional, ello habla por un lado de la consolidación de las actividades industriales en estos municipios y de cómo en un sentido general ello refleja la estabilidad de las concentraciones económicas.

Figura 23. Distribuciones Kernel de la productividad laboral 1999, 2004 y 2009 en los municipios metropolitanos

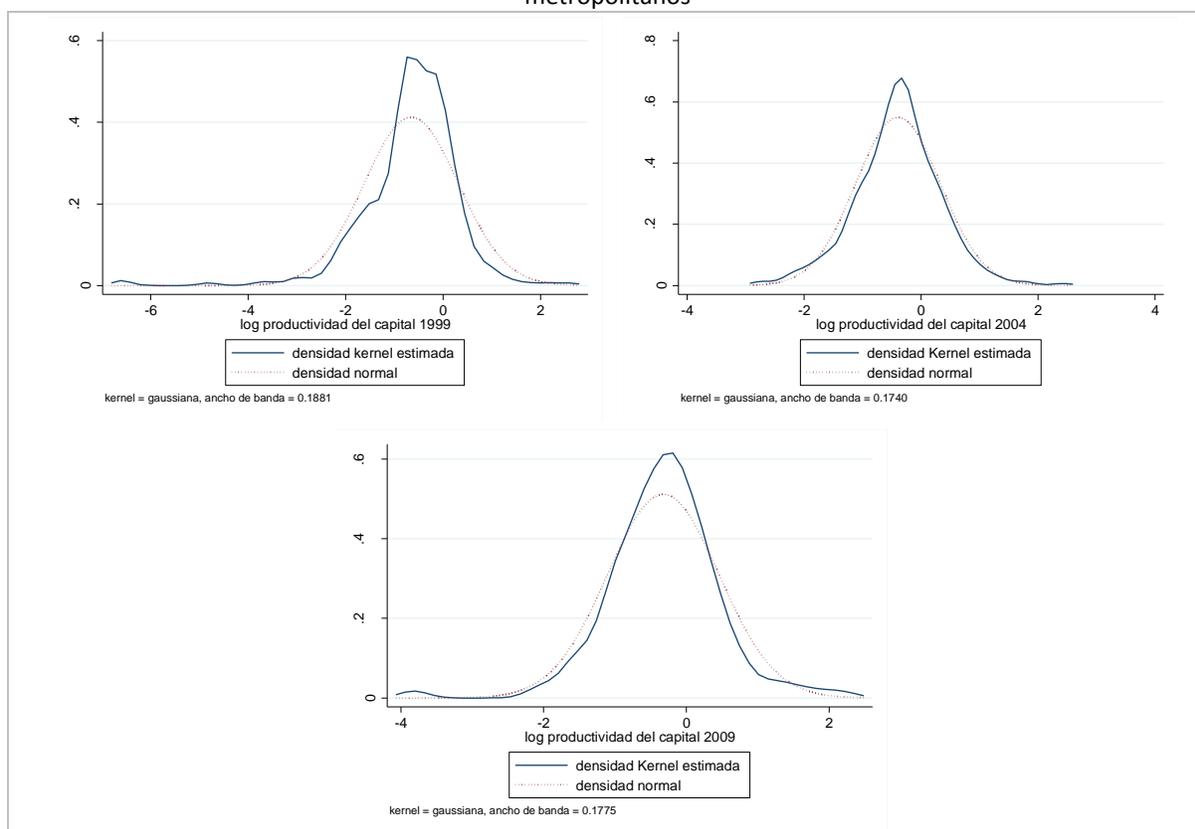


Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: los anchos de banda de las distribuciones estimadas es el calculado por defecto en STATA, es preciso observar que es entre sí comparable.

El análisis de las distribuciones para el caso de las ciudades corresponde con lo encontrado en las distribuciones donde se incluyen todos los municipios del país, entonces la dinámica tecnológica implica la presencia de fuertes concentraciones industriales en algunos centros –abajo veremos los patrones de concentración de la productividad mediante un análisis de correlación espacial–, pero de entrada puede sostenerse el argumento de que la naturaleza de la evolución de la productividad laboral en la industria de los municipios sigue un patrón empírico consistente con lo que en los modelos de crecimiento regional y sus supuestos se sostiene, esto es, tendencias a la aglomeración de capitales en ciertos espacios.

Desde el punto de vista clásico-marxiano, el resultado puede asociarse al establecimiento de estructuras complejas de división del trabajo, especialización en algunos casos, diversificación en otros, esclarecer las causas de cada uno de estos dependerá de un análisis inclusive a nivel histórico sobre la localización de los centros industriales, sin embargo, puede destacarse dada la evidencia y las diferencias en las distribuciones Kernel (figura 23), que los patrones de localización o al menos de la utilización de las capacidades productivas de las regiones –reflejadas en variaciones de la productividad–, difieren sustancialmente cuando solo se abarcan unidades de análisis con más puntos en común.

Figura 24. Distribuciones Kernel de la productividad del capital 1999, 2004 y 2009 en los municipios metropolitanos

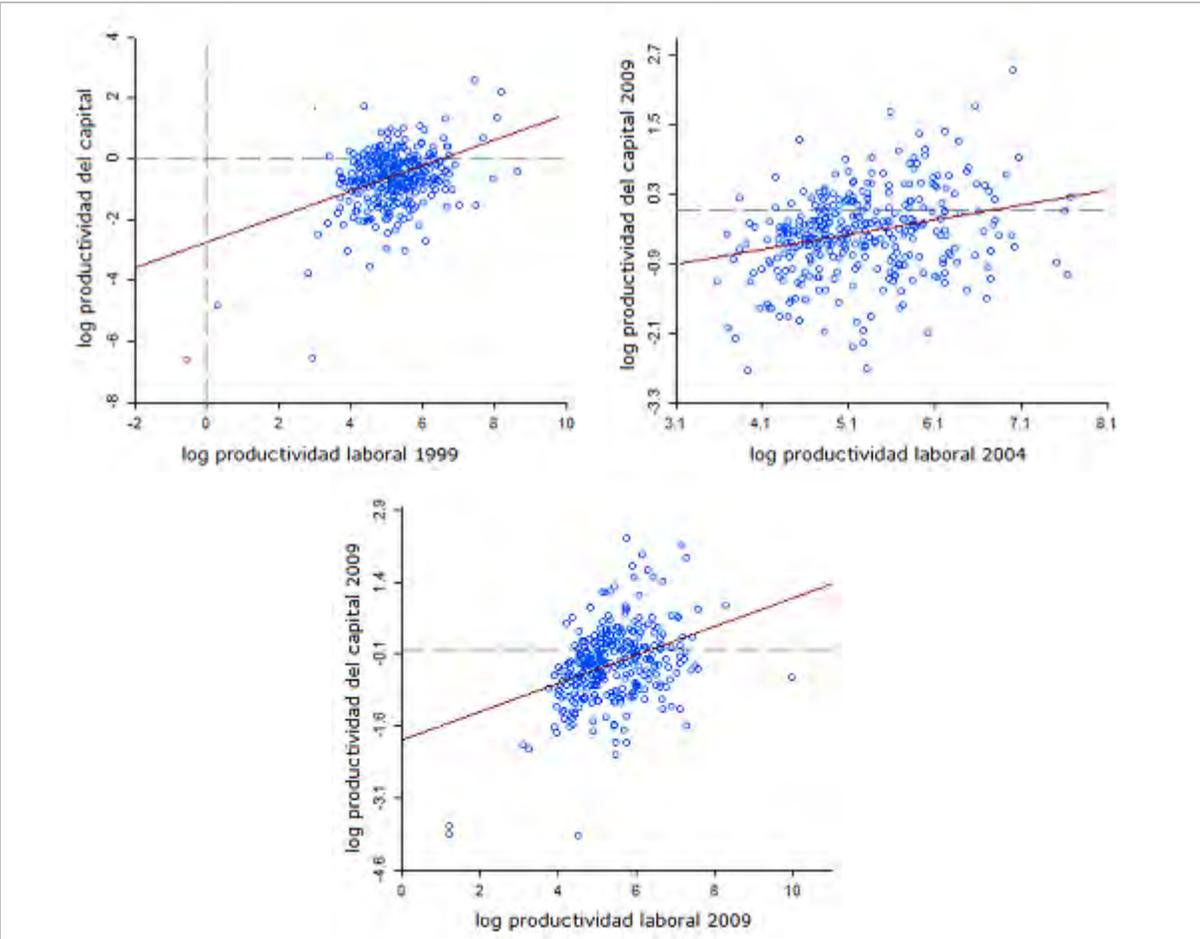


Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009. Nota: los anchos de banda de las distribuciones estimadas es el calculado por defecto en STATA, es preciso observar que es entre sí comparable.

En el caso de la productividad del capital resulta interesante la evolución de la distribución de los datos en las densidades Kernel, es complicado elaborar una explicación económica vista la transformación en las distribuciones, sin embargo, al estar acotado el análisis para el caso de las ciudades puede decirse que dependerá la forma de las mismas de los procesos de acumulación que se desarrollen en las mismas, si la evolución de la productividad de capital está asociada a

mecanismos de incorporación de tareas automatizadas a la producción, la reorganización del trabajo y la misma evolución de la densidad de capital, los sesgos, valores medios y los valores extremos en los datos serán expresión directa de esto. Es notorio que para los años 2004 y 2009 el ajuste de las observaciones no difiere en demasía de una distribución normal, en sentido estricto, esto apunta a un estancamiento de la productividad del capital en estas unidades de análisis, es decir, la incorporación de capital fijo a la producción no ha tenido una dinámica de cambio radical, el cambio más notorio es con respecto a la distribución observada en 1999.

Figura 25. Diagramas de dispersión de la productividad laboral y del capital en los municipios metropolitanos 1999, 2004 y 2009



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. Censos Económicos 1999, 2004 y 2009.

Si se relacionan los indicadores de productividad laboral y del capital puede encontrarse una relación positiva entre los mismos (figura 25), esto es, cuando aumenta la productividad laboral pueden generarse aumentos en la productividad del capital, aunque las pautas de cambio tecnológico tengan un comportamiento específico como se ha explicado arriba; en el caso de los municipios metropolitanos en conjunto se observa dicha tendencia. Merece atención especial lo

observado en el gráfico de dispersión para el año 2004 así como el descenso en la pendiente de la recta que relaciona las variables, al parecer esa mayor dispersión de los datos puede deberse a variaciones muy marcadas de las variables de estudio. La conclusión más importante en este punto es que existe una tendencia positiva que induce un cambio en la productividad laboral sobre la productividad del capital.

Tabla 11. Autocorrelación espacial de la productividad laboral y del capital para los municipios metropolitanos

Índice de Moran Univariado				
	Productividad laboral log (x)		Productividad del capital log (p)	
Año	E(I)	I de Moran	E(I)	I de Moran
1998	-0.0029	0.0432	-0.0029	0.0372
2003	-0.0029	0.0377	-0.0029	0.1018*
2009	-0.0029	0.0150	-0.0029	0.0143
Índice de Moran Bivariado tomando log (x) y log (p)				
Año	E(I)		I de Moran	
1998	-0.0029		0.0003	
2003	-0.0029		0.0453**	
2009	-0.0029		-0.0102	
Tasas de crecimiento				
	productividad laboral (g)		Productividad del capital (c)	
Periodo	E(I)	I de Moran	E(I)	I de Moran
98-03	-0.0029	0.0386	-0.0029	0.0524
03-08	-0.0029	-0.0276	-0.0029	0.0252
98-08	-0.0029	0.0218	-0.0029	-0.0021

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación. Para el cálculo de los índices se empleó una matriz de pesos espaciales tipo *queen* de de orden uno. *Índices registraron un pseudo p-valor de 0.001. **Índices registraron un pseudo p-valor de 0.08. Para el índice de moran bivariado se toma el log de la productividad laboral contra el rezago del log de la productividad del capital.

Al comparar los resultados obtenidos en la prueba del índice de Moran para evaluar correlación espacial de las variables para el caso de los municipios metropolitanos, con respecto a los resultados de correlación aplicados a todos los municipios del país (ver tabla 6), se encuentra que a pesar de que los municipios no metropolitanos representan en conjunto solo el 20% del valor agregado industrial –lo cual supondría una menor dependencia en la determinación del valor de estas variables con respecto a los municipios metropolitanos–, se puede dar cuenta de que los efectos espaciales desaparecen, es decir, la dependencia espacial de la productividad laboral y del capital se diluye, cabe mencionar que además se utilizaron varias configuraciones de matriz de pesos espaciales con la finalidad de evaluar efectos entre unidades más lejanas, vecinos más cercanos, etcétera y los resultados fueron esencialmente los mismos, esto es, desaparecen los

efectos espaciales entre las variables. La conclusión más importante que se desprende de esto es que las conexiones entre las industrias en el espacio si depende en cierta medida de la totalidad de la geografía a nivel municipal, la interacción no solo es relevante entre los municipios más desarrollados.

Capítulo 3. Modelo de autómata celular del cambio técnico

1. Los Modelos Basados en Agentes

La exposición de este apartado consiste en aplicar la metodología de los Modelos Basados en Agentes (MBAS), específicamente en un modelo de Autómata Celular. Bajo la idea de que en economía –y en general en las ciencias sociales– los fenómenos que se abordan son de naturaleza inestable, según Gilbert y Troitzsch: “el objetivo [de estudio] es siempre una entidad dinámica, que cambia a través del tiempo y reacciona a su entorno.” (2006, p.15). Un modelo de estas características más que significar una simplificación de realidad –definición comúnmente asumida en el campo de estudio de la economía–, implica toda una concepción del mundo social desde un punto de vista epistemológico.

El desarrollo de herramientas computacionales ha permitido que la investigación en las ciencias sociales tenga un campo más amplio de acción para generar mecanismos de validación de teorías y concepciones analíticas. Esto porque hasta antes de la aparición y uso generalizado de las computadoras era muy complicado obtener resultados numéricos de un modelo aunque su construcción obedeciera a una formalización analíticamente posible. La metodología de los MBAS es prácticamente imposible sin el uso de los sistemas de cómputo, la razón que explica esto la desarrollamos a continuación.

Gilbert y Troitzsch hacen una distinción entre los objetivos de las técnicas de uso habitual y los MBAS cuando argumentan: “los modelos de simulación se preocupan por procesos, mientras que los modelos estadísticos típicamente tienen como meta explicar correlaciones entre variables medidas en un punto singular en el tiempo.” (2006, p.18) La interacción entre diversos componentes de la sociedad dan como resultado patrones que son observables a nivel agregado, como las series del producto interno bruto, valor agregado, salarios, etc.

Por ejemplo, cuando la estadística de desempleo reporta una caída, ello nos lleva a pensar que en la economía están sucediendo causales como la baja en el dinamismo de determinados sectores, cierre de empresas, etcétera, puede haber una cantidad considerable que explican el comportamiento de una variable. En los MBAS resulta posible modelar precisamente ese tipo de causas vistas como procesos de interacción entre unidades heterogéneas de agentes.³⁴

³⁴ El concepto de agente en esta metodología tiene un sentido distinto al utilizado en el análisis microeconómico. Un agente puede ser un trabajador, una empresa o una organización política por ejemplo.

Visto entonces que la intención de los MBAS es la de representar un fenómeno asumiendo que los comportamientos agregados son producto de relaciones entre una cantidad considerable de componentes de un sistema –en este caso la economía–, se considera una herramienta útil para modelar los procesos de cambio tecnológico en un contexto de análisis espacial³⁵.

Si lo que está en el centro de las cosas en los procesos de cambio tecnológico son las decisiones de inversión o acumulación de los capitalistas individuales, además el contexto de competencia en el que están inmersos determina patrones de interacción entre ellos, entonces esta metodología ofrece un camino loable para analizar los ritmos y pautas de comportamiento de una economía en presencia de cambio técnico. En el capítulo anterior se observó de distintas formas que el cambio tecnológico del país tiene un componente espacial, es decir, que los procesos de interacción espacial de los capitales –o de las unidades de producción ubicadas en cada uno de los municipios–. En este capítulo se construye un modelo de interacción básico basado en el autómata celular para hacer énfasis en cómo se generan los mecanismos de interacción entre unidades de producción heterogéneas.

2. El modelo

El modelo de autómata celular propuesto consta de una economía artificial en la que cada celda representa a un capital individual, esto es, existen en total C_{ij} celdas. Se propone una red económica con dimensión 60–por–60, los 3600 capitales modelados se dedican a diversas actividades industriales y tienen una ubicación definida en la cuadrícula, los capitales no pueden moverse a través de la red.

La dimensión sobre la que está planteado el autómata es de tipo 2D, en donde las principales características del mundo que se va a producir son las siguientes según Gilbert y Troitzsch (2006):

1. Las células son idénticas una con otra en lo referente a la forma y están organizadas en una cuadrícula, en este caso las celdas representan capitales individuales,
2. Cada celda puede encontrarse en uno de entre varios estados (tener un acervo de capital fijo y trabajadores por ejemplo),
3. La simulación avanza a lo largo del tiempo en pasos o periodos discretos,
4. El estado de cada una de las celdas después de un paso de tiempo cualquiera está determinado por una

En otras disciplinas como la biología los agentes son moléculas, células, organismos, etc., esta acepción más amplia del concepto permite atribuir características y procesos de interacción a los mismos con el fin de investigar desde el comportamiento micro fenómenos agregados.

³⁵ Para tener un panorama más amplio sobre la metodología ver el anexo metodológico 2.

regla o conjunto de reglas y atiende al estado de las celdas contiguas, y 5. Puesto que las reglas sólo hacen referencia a los estados de otras celdas en las cercanías inmediatas de una celda, el uso más conveniente de un modelo de este tipo es donde las situaciones de interacción son estrictamente locales –este es el caso del tipo de interacción que asociamos al cambio tecnológico–.

2.1 Capitales individuales y capital global

Cada celda representa un capital individual que se dedica a alguna actividad industrial y existe heterogeneidad, los capitales son de distintos tamaños. Cada una de las celdas cuenta con un acervo de capital fijo k (maquinaria e insumos para producir), y un número de trabajadores n . Además de manera inicial tiene un nivel de producción y , el cual depende del grado de productividad asociado a los elementos k y n , el ratio $x_i = y/n$ es la productividad laboral individual y $\rho_i = y/k$ es la relación producto-capital (productividad del capital individual). Serán más productivos aquellos capitales que sean más grandes en lo referente al acervo de capital fijo k , el supuesto detrás de esta afirmación es que estos tienen un mayor grado de automatización en sus tareas de producción, así la fuerza de trabajo es más productiva, en estas celdas la relación k/n es alta, mientras que en los capitales donde esta relación es baja la productividad es menor, este elemento es la expresión de la tecnología de cada capital individual.

Para el total de la economía es posible calcular las variables indicadas atendiendo al modelo con el cual se identificaron los tipos de cambio técnico para los municipios de México. Con N se denota el total de personas empleadas, K es el total de acervos de la economía, Y es el nivel total de producción, Y/N expresa la productividad laboral, Y/K la relación producto-capital y K/N la densidad de capital, en términos marxistas es una aproximación a la composición orgánica. Formalmente se puede agregar las variables como sigue:

Tabla 12. Construcción de las variables globales

Total de trabajo	Total de Acervos de Capital	Total de producto
$N = \sum_{i=1}^n N_i = \sum N_i$	$K = \sum_{i=1}^n K_i = \sum K_i$	$Y = \sum_{i=1}^n Y_i = \sum Y_i$

Fuente: elaboración propia

Lo que permite la definición global de las variables desde este punto de vista es justamente la forma en la cual se construyen en los sistemas de cuentas nacionales y censales. A diferencia de

una función de producción agregada neoclásica la construcción de estas variables permite evaluar las relaciones técnicas de producción y la productividad de la economía sin afirmar que el nivel de producto Y es simplemente la suma de sus componentes, sino la suma de los niveles de producción de cada capital individual los cuales cambian debido a un proceso de interacción que define su dinámica tecnológica.

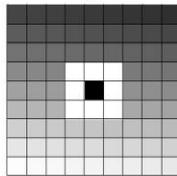
En referencia al crecimiento económico serán aquellas regiones de la red económica que acumulen mayores montos de capital fijo (que tengan más tecnología incorporada), las que sean más prósperas en comparación con aquellas que tengan un ritmo menor de acumulación dadas unas condiciones de rentabilidad.

2.2 Vecindad y condiciones de racionalidad

Con el objetivo de capturar en el modelo el supuesto de límites de racionalidad (acceso limitado a la información), se considera que los capitales solo perciben de manera directa en cada paso de tiempo la información de sus capitales cercanos en un tipo de vecindad de *Moore* (N^{Moore}) que es un conjunto de celdas que rodean en forma de cuadrado y que influye directamente en el estado de nuestra celda dada en el sitio (i_0, j_0) por cada paso de tiempo en un radio de *rad* esto se define formalmente como:

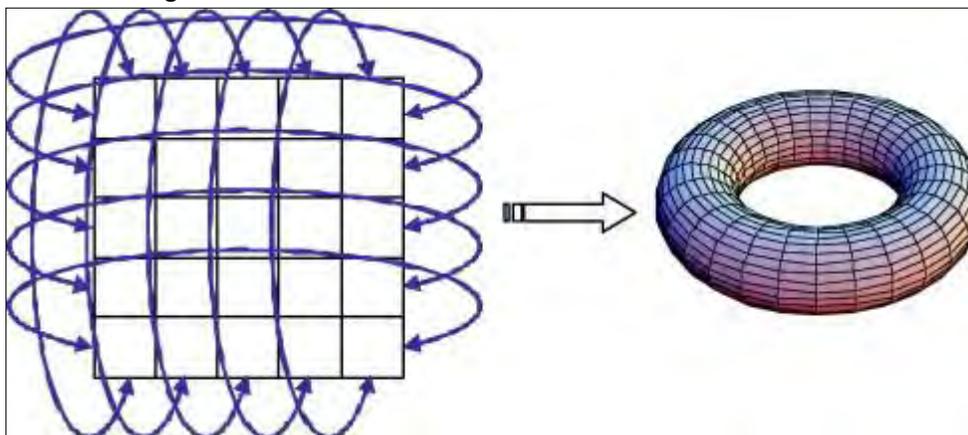
$$N_{(i_0, j_0)}^{Moore} = \{(i, j): |i - i_0| \leq rad, |j - j_0| \leq rad\}$$

Figura 26. Vecindario Moore de radio=1



Los límites de la economía son periódicos (*torus*), es decir, que cada $4(n - 1)$ celdas en las fronteras de la red existe continuidad (construcción *wrapped*) para que, por ejemplo, la celda $C_{(1, 100)}$ se comunique con la celda $C_{(1, 1)}$ en la frontera opuesta.

Figura 27. Construcción *torus* en un modelo de autómeta celular



Fuente: Abdul, Md y Bee (2009).

La figura 27 ilustra la estructura de nuestra economía artificial. La idea detrás este tipo de construcción es la existencia de una interconexión entre todos los capitales modelados, de tal forma que al pasar el tiempo todos perciban en algún grado información proveniente desde lugares lejanos hasta su entorno local cuando han ocurrido varios pasos de tiempo.

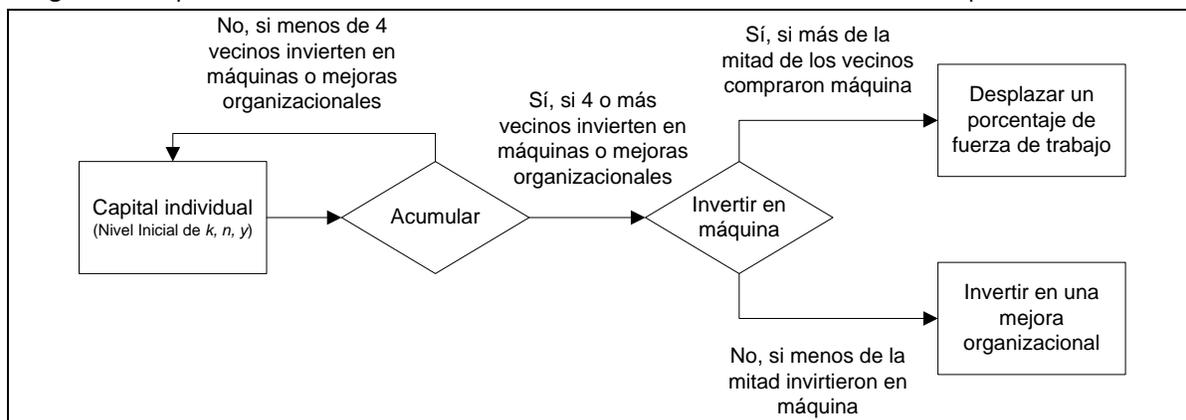
2.3 Regla de transición

Dependiendo de las condiciones de acumulación local cada capital individual decide si en cada paso de tiempo invertir en: a) una máquina que automatiza tareas (lo cual implica un desplazamiento proporcional de trabajadores), b) mejorar su organización del trabajo (administración científica del trabajo) o, c) permanecer exactamente en las condiciones iniciales.

La lógica detrás del proceso de actualización de los capitales individuales es que al pasar el tiempo es probable que cada uno de ellos reciba alguna porción de la información generada en lugares distantes a su localización, así en periodos largos cada capital individual estaría tomando sus decisiones de acumulación en función de lo que ocurre en toda la red representada en el modelo.

Una regla de transición sencilla como la descrita (figura 28), puede conducir al objetivo planteado en este capítulo, el cual es mostrar que la interacción local es determinante en la formación de procesos de desarrollo tecnológico en una economía. Las propiedades de dependencia espacial identificadas en el capítulo 2 conducen a pensar en la relevancia de la interacción como mecanismo de transmisión de información a nivel local.

Figura 28. Esquema UML de transición sobre las decisiones de cambio técnico de los capitales individuales



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la regla de transición del modelo se asume como posibilidad de cambio tecnológico dos vías, la primera, que la empresa invierta en la compra de una máquina nueva que automatiza actividades hechas por la mano de obra y así mejora su eficiencia al producir porque puede producir cantidades mayores en menos tiempo, este tipo de cambio técnico implica necesariamente desplazamiento de mano de obra; la segunda, la empresa invierte en una mejora organizacional, esto significa que con su estructura productiva (combinación de capital fijo y trabajadores), puede mejorar si sólo reorganiza el modo en el cual lleva a cabo su proceso de producción, este tipo de cambio técnico no necesariamente desplaza mano de obra, gráficamente la regla está expresada en la figura 28.

Se modela la decisión de inversión de los capitales como un juego de mayoría justamente porque la generalización de una técnica productiva nueva (máquina o mejora organizacional), tiene que ver con un proceso de contagio entre las distintas unidades productivas de una economía, en este modelo se supone que los capitales más cercanos están más relacionados, así es más probable que entre sí compartan información que tiene que ver con mejoras en su manera de producir.

Bajo el supuesto de que los procesos de mejora técnica en lo general conllevan el desplazamiento de mano de obra del proceso productivo, en los casos en los cuales las trayectorias de actualización de los agentes modelados la participación del trabajo llegue a niveles muy pequeños, se ordena al sistema que ese capital desaparezca, la justificación teórica de eso es que no pueden existir capitales individuales que lleven al infinito sus procesos de acumulación y solo sobreviven aquellos que guardan una proporcionalidad técnica realista entre el capital fijo y el capital variable.

3. Resultados

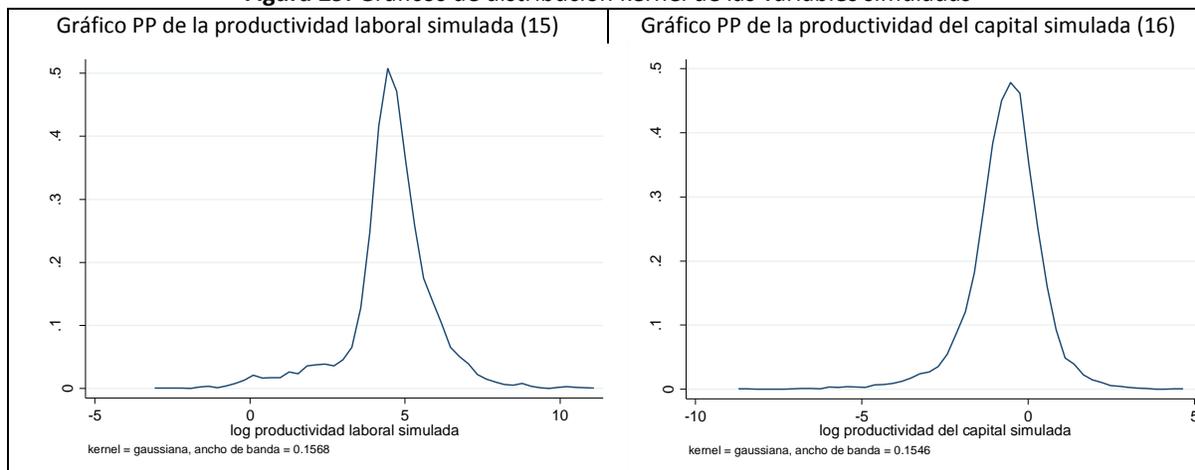
Básicamente nuestro modelo depende de la cantidad de capitales en la economía, y de las condiciones de racionalidad de estos (vecindad Moore). Como se mencionó en la sección anterior la lógica de acumulación de los capitales y bajo la condición de que al implementar mejoras técnicas existe un proceso de desplazamiento de mano de obra, esto hace que a un nivel macro ocurran los siguientes fenómenos emergentes: i) Existe una tendencia creciente de los stocks de capital fijo (aunque se observan algunos cambios de fase en la variable); ii) la densidad de capital de la economía presenta una tendencia a crecer; iii) el empleo de mano de obra tiene una trayectoria descendente, la cual llega a un punto estacionario cuándo los límites de racionalidad imponen una estructura constante de capital fijo en la economía (puede afirmarse que esto ocurre en el largo plazo) y; iv) tal vez lo que sea más importante en términos de la valoración del modelo, bajo las condiciones de acumulación impuestas a los capitales, las características de una economía que crece son: *crecimiento del capital fijo disponible para producir con desplazamiento de mano de obra del sector industrial y la desindustrialización en ciertas regiones, mientras que otras conservan su status de regiones industrializadas.*

La presentación de nuestros resultados se basa en dos partes, la primera: si a nivel individual los capitales reproducen las distribuciones estadísticas mostradas en la sección de hechos estilizados (capítulo 2). Esto es, por medio de la reproducción de los gráficos de distribución Kernel podremos observar si la productividad laboral, y la productividad del capital se reproducen, así mismo analizaremos si el comportamiento de sus tasas de crecimiento se acerca a las distribuciones observadas con los datos reales. En la segunda parte se presentarán los patrones emergentes generados en el modelo de simulación de acuerdo a las variables *macro* asociadas al cambio técnico tales como: la cantidad de trabajo empleado, la productividad laboral, la productividad del capital, la densidad de capital, los acervos de capital fijo y finalmente la pauta de cambio técnico global.

3.1 Distribución de las variables simuladas

Un camino para comprobar la validez del modelo es comparando la distribución de las variables empíricas. El argumento consiste en decir que si las distribuciones obtenidas de la simulación son similares a las que presentan las variables reales, entonces el modelo si está en condiciones de explicar el fenómeno modelado.

Figura 29. Gráficos de distribución kernel de las variables simuladas



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la investigación.

Los resultados obtenidos con el modelo confirman el tipo de distribución de las variables reales (ver las figuras 6 y 7 en el capítulo 2), ello significa que independientemente de que en la cuadrícula los agentes interactúan en un espacio regular lo importante es cómo fue posible capturar el proceso de cambio tecnológico sesgado. Se reproducen los patrones de acumulación presentes en la economía real observada a partir de los municipios de México, existe una cantidad muy pequeña de capitales en donde los niveles de productividad están muy por encima de los valores medios conviviendo con regiones en la economía en donde la productividad (laboral o del capital) es muy pequeña.

La regla de transición tiene un peso significativo en los resultados de este tipo de modelos pues conforme a lo observado parece ser que en términos de las decisiones de acumulación o de mejoras tecnológicas de las empresas, es relevante la interacción local de estos. El proceso de desarrollo tecnológico tiene mucho que ver con el grado en que las empresas se hallan en contacto y del ambiente de competencia. En el experimento realizado para evaluar los ritmos y pautas de cambio tecnológico el estado final del sistema indica que un porcentaje de las celdas desaparecieron del sistema dado que al principio presentaron condiciones aceleradas de mecanización y desplazamiento de mano de obra, cuando esto sucede, se obliga a la celda a morir dado que es irreal para una economía o unidad económica operar con una porción nula de mano de obra.

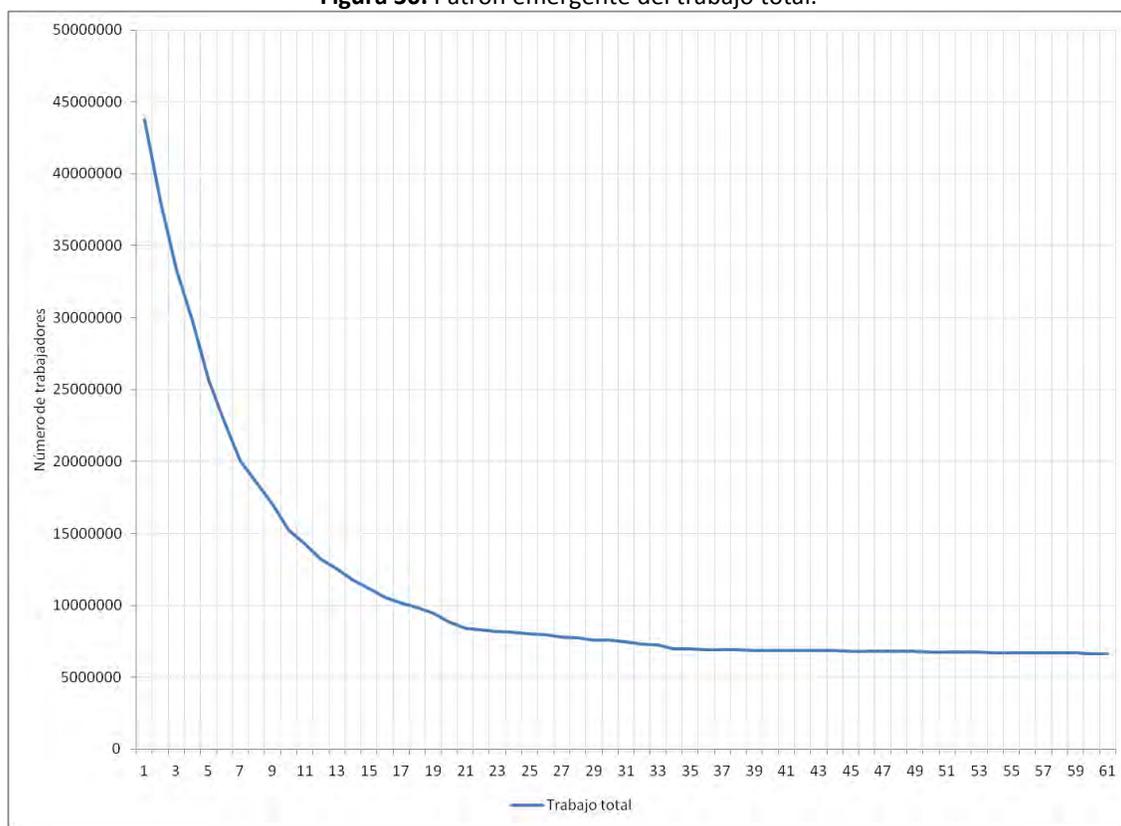
El hecho de que algunos capitales desaparezcan en los experimentos confirma la idea de que en una configuración regional los patrones de desarrollo tecnológico son heterogéneos. En una economía en crecimiento, la regularidad empírica es que van a existir al interior localidades

prosperas y localidades que no son capaces de desarrollar su potencial productivo, ello se debe a la distribución heterogénea del capital en términos de su tamaño y potenciales productivas directamente asociadas a un nivel de rentabilidad.

4. Patrones emergentes

En un modelo de estas características un elemento que complementa los resultados a nivel micro son los patrones emergentes o macro, resultantes de la interacción de los agentes modelados. Es de nuestro interés observar las trayectorias de las variables clave: trabajo (N), capital fijo (K), producción (X), productividad laboral ($x = X/N$) y la productividad del capital ($k = X/K$). Las tendencias de estas variables dan una vívida representación de las consecuencias del desarrollo tecnológico aplicado a la producción industrial además ofrecen pistas sobre sus implicaciones regionales dado que son generadas a partir de un proceso de interacción local.

Figura 30. Patrón emergente del trabajo total.



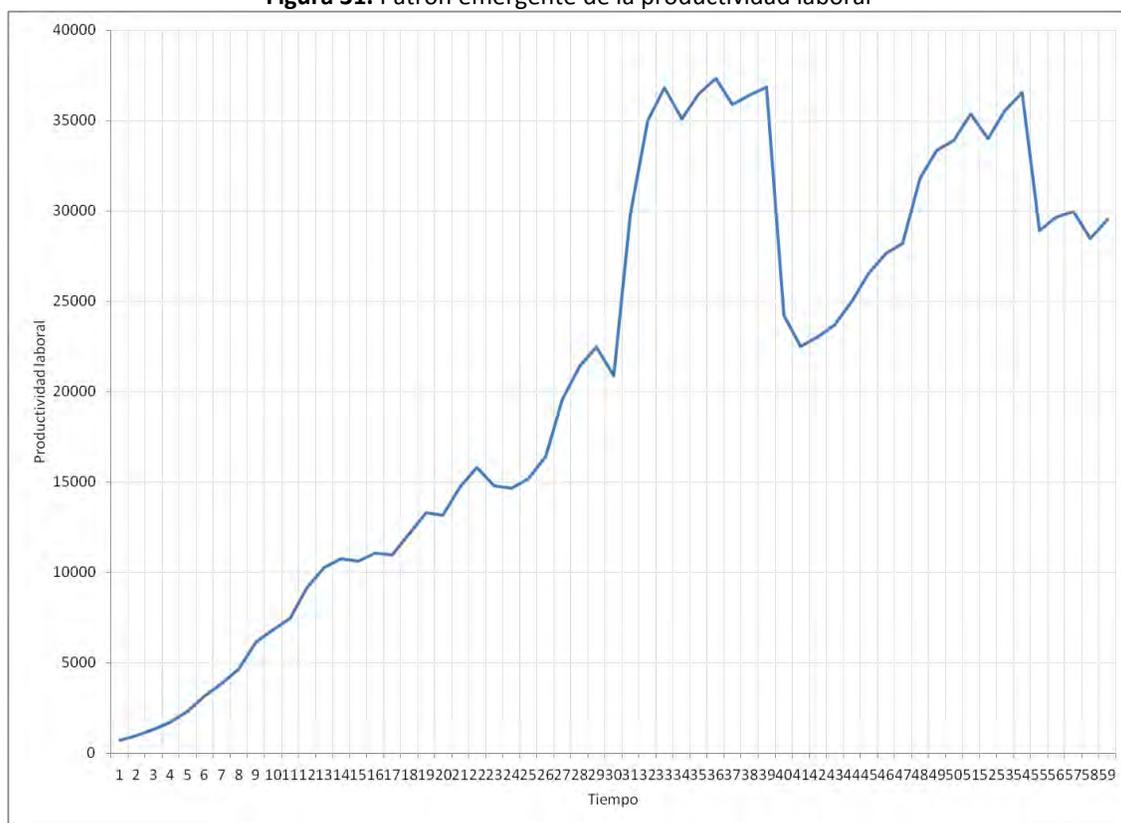
Fuente: Elaboración propia con base en datos de la simulación.

La trayectoria histórica global del trabajo presenta una tendencia a decrecer, bajo las condiciones de tecnificación de los capitales individuales los resultados del modelo apuntan a que en el sector industrial de la economía existe el fenómeno sistemático de desplazamiento de mano

de obra, las razones para la ocurrencia de esto son que la automatización de los procesos productivos sustituye trabajadores, por ejemplo, un proceso que hacían 20 trabajadores es probable que después de la adquisición de una máquina solo lo hagan 15 o 10; la lógica que obedece a esto a nivel de empresa es la reducción de costos; por otro lado, una mejora organizacional, por ejemplo, un estudio de tiempos y movimientos resulta en la reducción de la mano de obra empleada en el proceso productivo.

Las implicaciones regionales que esto tiene resultan en una estructura productiva industrial repartida desigualmente en el espacio, existen regiones con grandes dotaciones de recursos (capital fijo y mano de obra), para realizar las actividades productivas de una sociedad coexistiendo con regiones en donde históricamente los ritmos y patrones de implementación técnica no tienen una dinámica que permita su desarrollo.

Figura 31. Patrón emergente de la productividad laboral

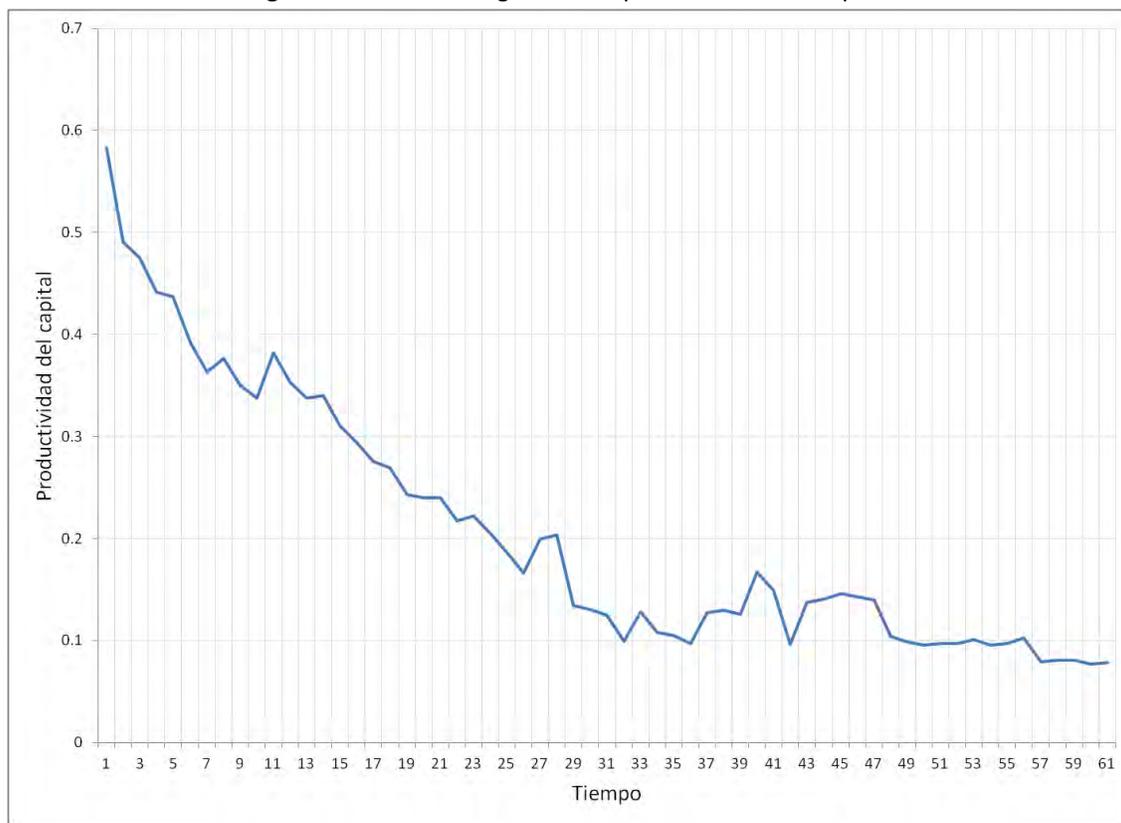


Fuente: Elaboración propia con base en datos de la simulación.

Si cada paso de tiempo representa un año. La evolución creciente de la productividad laboral combinada con periodos decrecientes y algunos cambios de fase es un resultado emergente significativo. En trabajos empíricos a nivel macro esto se ha sido comprobado, pero

¿Qué consecuencias tiene este comportamiento a nivel regional? En el modelo de simulación se observó la formación de desigualdades a nivel espacial esto significa la existencia de procesos locales de innovación que a su vez impulsan hacia arriba o hacia abajo la productividad laboral. Regionalmente pueden estar ocurriendo 2 fenómenos, uno, el producto crece por efecto de un periodo de tecnificación en la producción, el otro, dado un periodo de incorporación de tecnología o reorganización de la producción el efecto de desplazamiento de mano de obra hace crecer súbitamente la productividad.

Figura 32. Patrón emergente de la productividad del capital



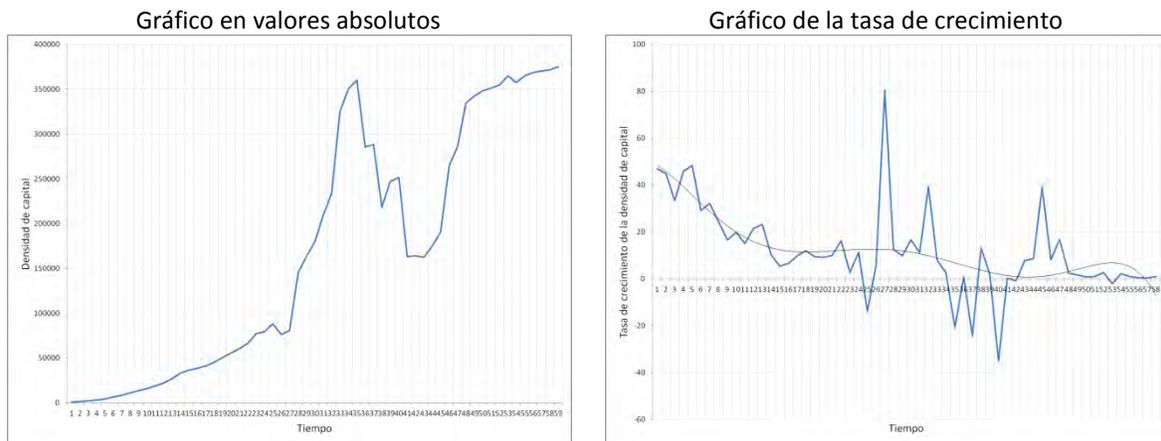
Fuente: Elaboración propia con base en datos de la simulación.

La productividad del capital presenta una tendencia decreciente en el tiempo, la razón de que esto suceda así es porque en una economía en crecimiento está presente un proceso de aumento continuo del capital fijo que puede ser mayor al producto total generado (de hecho los bienes de capital también son parte de la oferta de una economía y cuando esta crece el mercado de este tipo de bienes se halla en expansión).

En términos de interacción local se explica como sigue: aquellas unidades espaciales que incorporen nueva tecnología hacen más productiva la mano de obra que conservan porque a

partir de una cantidad menor de recursos humanos producen más volumen de mercancías, de darse solo una mejor organizacional aprovechan mejor sus activos fijos de tal suerte que con el mismo acervo de capital fijo son capaces de generar un mayor monto de producción.

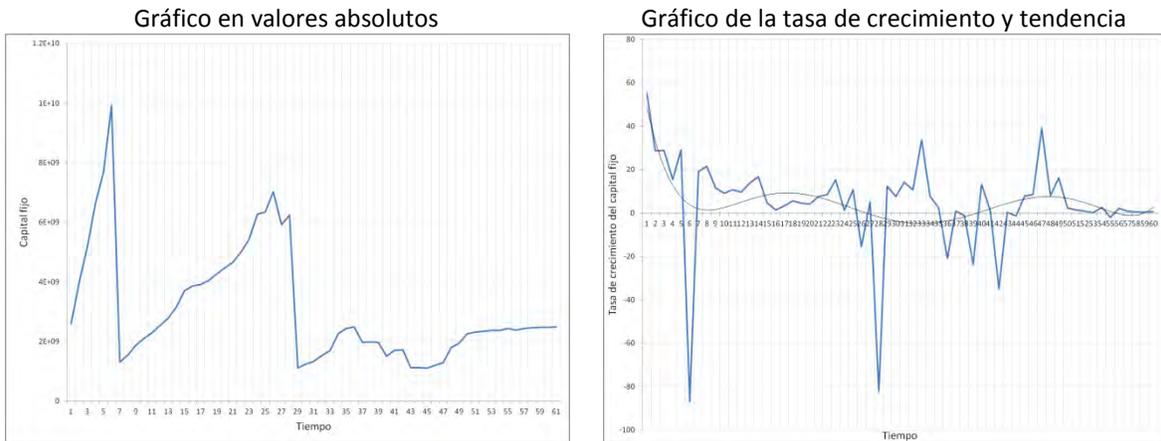
Figura 33. Patrón emergente de la densidad de capital



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la simulación.

La densidad de capital definida como K/N es una relación técnica que muestra el grado de desarrollo tecnológico de una sociedad, cuándo este ratio es elevado significa que en la tareas productivas existe una proporción mayor de máquinas con una cantidad menor de trabajadores, inversamente, cuando este ratio disminuye, se dice que se está elevando proporcionalmente la cantidad de trabajadores que ponen en movimiento el capital fijo disponible para producir. Las desigualdades regionales observadas sugieren la existencia de espacios geográficos en los cuales puede hacer distintos tipos de combinaciones técnicas, hay lugares *utilizadores de capital* tendrán una porción menor de trabajo, de otro lado, hay lugares *utilizadores de trabajo y ahorradores de capital*, así las combinaciones técnicas difieren regionalmente, significando esto que serán más productivos los espacios geográficos en donde por efecto de la difusión de las técnicas más avanzadas sea mayormente utilizado el capital fijo como medio de producción que sustituye mano de obra.

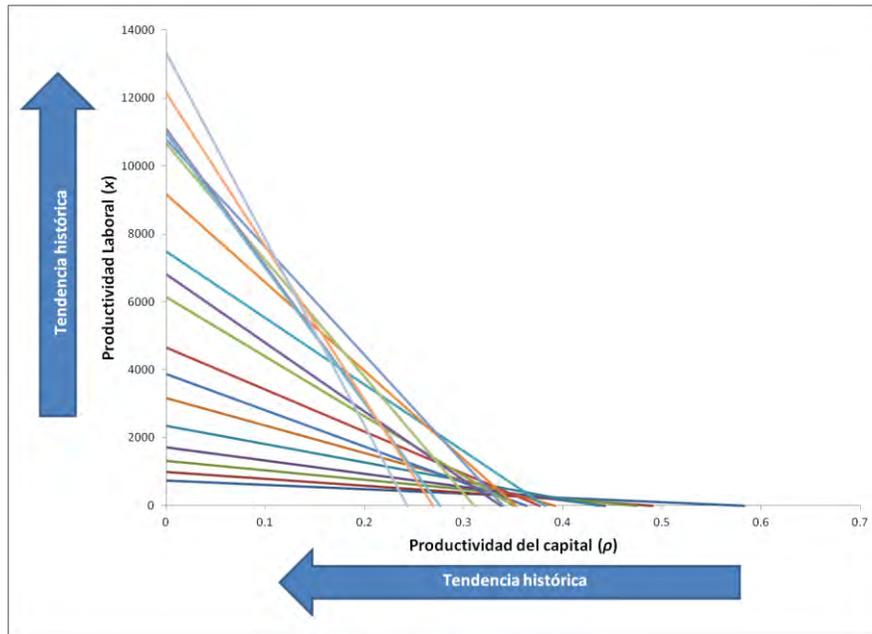
Figura 34. Patrón emergente del capital fijo



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la simulación.

El patrón emergente del capital fijo (figuras 34) muestra que a través del tiempo hay periodos que podrían considerarse de álgida incorporación de nuevos medios de producción, esto es, hay puntos en el tiempo en los cuales la gran mayoría de los productores invierten en máquinas o en métodos novedosos de organización del trabajo con el fin de ser más productivos, esto se combina con periodos de “depresión” en donde inclusive puede darse destrucción de capital fijo u obsolescencia del mismo. Se puede decir que la red económica se prepara para tener periodos de renovación tecnológica.

Figura 35. Tendencia de la curva de eficiencia global de de la economía en crecimiento



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la simulación.

Finalmente, el modelo de simulación permite tener una representación de las tendencias seguidas por la productividad del capital y la productividad del trabajo. Históricamente la tendencia hacia la mecanización de las actividades industriales genera desplazamiento de mano de obra de la producción, hace aumentar la productividad laboral y disminuir la productividad del capital. La consecuencia de esto a nivel global es que históricamente la industria logra adquirir potenciales de producción muy altos ahorrando mucha mano de obra cuando una economía se encuentra en una senda de crecimiento industrial, lo importante aquí es enfatizar que es debido a fenómenos de interacción local (modelados de manera sencilla en este capítulo), como es posible tener una aproximación al conocimiento de los fenómenos de cambio tecnológico en una economía.

Veámos que solo ciertas regiones conservarán en el tiempo una vocación industrial, mientras que otras quedan desplazadas de esta actividad. Bajo estas condiciones de evolución de la red económica habría que encontrar respuestas sobre la manera en la cual podría emplearse a la mano de obra desplazada. Ello podría ser parte de algunas propuestas de política emanadas de este modelo y que se pondrán a consideración en la sección siguiente.

5. Discusión

En los estudios de economía regional o macroeconomía que abordan los temas del cambio técnico, el crecimiento y su relación, suele dejarse de lado la evaluación de los efectos negativos del progreso tecnológico sobre el empleo de mano de obra en los sectores industriales. Sobre todo en los trabajos enmarcados bajo la perspectiva de análisis neoclásico que no hace una distinción entre el trabajo productivo y el trabajo improductivo suele quedar oculto el problema. Hacer esta distinción posibilita conocer las implicaciones regionales y globales del fenómeno. También al asumir que el crecimiento económico debe entenderse como la acumulación de activos inducidos por algún grado de interacción local de los capitales individuales en un ambiente económico de competencia y no simplemente como la variación de la producción permite esclarecer tales contradicciones de la economía.

En los estudios sobre el crecimiento local recientes se pone poca atención sobre las consecuencias que pueden generarse a partir del fomento o el desarrollo de la tecnología en las regiones. En términos de interacción espacial las mejoras en la producción industrial no

necesariamente generan prosperidad para un conjunto de unidades económicas. Apoyándonos en los resultados del modelo puede hacerse un contraste en las conclusiones sobre el crecimiento regional y macroeconómico.

El significado general de los resultados observados tiene que ver con el sentido y las implicaciones de ver independiente la política macroeconómica en términos de los fenómenos regionales. Teniendo en consideración las consecuencias del desarrollo tecnológico a nivel regional sobre el empleo total de la economía resulta necesario planear de manera alternativa la distribución de las actividades económicas no industriales, pensar en fomentar una dinámica positiva sobre estas para asegurar la mayor cantidad de empleo posible en lo referente a la estructura demográfica de las regiones.

Se considera que el modelo es una aproximación al problema de las consecuencias de la implementación de tecnología en una economía, a nivel local como macroeconómico, falta incluir aspectos como la rentabilidad y un esquema de distribución con el objetivo de evaluar los efectos sobre variables como las ganancias y los salarios en contextos regionales, pues el desarrollo tecnológico en una sociedad tiene efectos directos sobre estas variables.

Los patrones emergentes resultantes de la simulación son congruentes con los patrones empíricos hallados en estudios de corte macroeconómico, pues al menos en la evaluación del modelo en donde se obtienen patrones de crecimiento agregados al modo de Marx se observa que en el largo plazo una economía en crecimiento (que acumula capital fijo), presenta una concomitante tendencia a la disminución de la productividad del capital (ver Foley y Marquetti, 2000). La tendencia cíclica de las variables mostradas obedece a la forma en la cual dentro de las economías se llevan a cabo los procesos de acumulación asociados de manera directa con procesos de conversión técnica u organizacional.

En los estudios de corte regional rara vez se pone atención sobre las explicaciones que desde el análisis local pueden fundamentar los comportamientos macroeconómicos. En este artículo se parte del estudio de patrones regionales o locales de cambio técnico que explican, por un lado, las divergencias regionales justamente y, por otro lado, una serie de características que pueden darse a nivel macroeconómico.

A partir de los resultados obtenidos tanto desde el punto de vista del análisis local como en los patrones emergentes la principal conclusión a la que se llega consiste en afirmar que la

consecuencia histórica de una economía en crecimiento es el aumento sistemático de la mecanización en la producción industrial que desplaza de los procesos a la mano de obra *aunque no todos los espacios (en este caso los municipios)* ocurra exactamente lo mismo, habrá conviviendo siempre unidades con escasas potencialidades productivas con otras que crecen marcadas por otros ritmos de acumulación e implementación tecnológica

Esta conclusión permite poner de manifiesto una vieja preocupación de los economistas sobre el tipo de políticas a seguirse con el objetivo de lograr emplear a la mayor cantidad posible de población. En México donde hay tendencias locales al desplazamiento de la mano de obra. Es necesaria la discusión en torno a políticas de migración interregional, políticas de desarrollo de otros sectores, de conservación de los emplazamientos industriales exitosos con el fin de contrarrestar los efectos negativos que tiene la evolución tecnológica aplicada a la producción industrial.

Conclusiones generales

La presente investigación aborda varios puntos sobre los cuales es necesario hacer reflexiones finales. El primero, tiene que ver con la discusión teórica sobre cuál perspectiva aporta elementos sustanciales para el estudio del cambio técnico y el crecimiento regional además de representar una alternativa al análisis convencional. En la investigación se ha puesto a prueba el denominado esquema Clásico-Marxiano con el fin de valorar las posibilidades de comprensión de otros elementos del fenómeno del crecimiento, se halló que tal esquema teórico aporta elementos adicionales para el análisis en términos de la comprensión de la heterogeneidad en las regiones. Particularmente en lo que tiene que ver con las dotaciones tecnológicas de las mismas y sus potencialidades de crecimiento.

El hecho de considerar el crecimiento económico como un proceso de acumulación, en contraste con una reducción conceptual donde se considera sólo como las variaciones positivas del producto, permite concluir que bajo un esquema de competencia capitalista las regiones más prósperas necesariamente son aquellas en las cuales estén presentes las ramas más dinámicas de la economía, siendo entonces un elemento importante a considerar para el diseño de política económica especialmente la política industrial, pues es muy complicado detonar procesos de crecimiento en regiones históricamente rezagadas.

Se observó en el trabajo que la existencia de ritmos y pautas diferenciadas cambio tecnológico no siguen una tendencia a la homogenización en el tiempo los espacios obedecen a distintas vocaciones de producción, así la historia de los procesos de convergencia queda un tanto en duda. Los patrones de concentración de la productividad laboral sugieren una tendencia a la polarización regional siendo los centros industriales tradicionales del país los que presentan dinámicas de interacción más fuertes que de alguna manera inducen el cambio técnico en los municipios del país, aunque debe reconocerse que la baja correlación espacial observada conduce a pensar en que el desempeño industrial de las regiones está explicado por otros factores como pueden ser el encadenamiento de los sectores a otros lugares fuera de las fronteras del país.

El esquema de análisis utilizado permitió además caracterizar con base en datos empíricos los tipos de cambio tecnológico presentes en la actividad industrial del país en el periodo analizado, a cada uno de los municipios analizados puede atribuírsele una trayectoria tecnológica, algunos crecen por efecto de la incorporación de capital fijo, otros por una mejoría en la utilización de los recursos, etcétera, el punto a discusión recae en la idea de que pueden identificarse con arreglo a la evolución de la curva de eficiencia de cada municipio algunas de las razones sobre su crecimiento o estancamiento económico atendiendo a su ritmo de transformación tecnológica.

En torno a la hipótesis de investigación se concluye con base en lo observado con la evaluación sobre los municipios (capítulo 2) y en la aplicación computacional, la relevancia de los efectos de interacción local como determinantes de las transformaciones tecnológicas en las regiones. Así queda de manifiesto el hecho de que el intercambio de información entre las unidades de análisis y lo que teóricamente está dicho desde la perspectiva teórica clásico-marxiana en lo referente a la competencia capitalista es un buen camino para analizar los patrones de desarrollo industrial y tecnológico en las regiones. Queda en la agenda de investigación asociar estos puntos con mediciones de rentabilidad local y esquemas de distribución del ingreso.

Finalmente la investigación sirvió para ofrecer un panorama alternativo de análisis del cambio tecnológico y el crecimiento regional, se añade al esquema teórico utilizado la perspectiva regional y los procesos de interacción local como elementos explicativos de los procesos macroeconómicos, esto ayuda a comprender las dinámicas agregadas de la economía desde el punto de vista de comportamiento de unidades más pequeñas inmersas cada una en una dinámica particular y jugando un rol en el desempeño macro de la economía. Tal vez una de las reflexiones más importantes en esos términos sean los efectos externos negativos que surgen sobre el

empleo cuando una economía presenta un dinamismo tecnológico con tendencia a la mecanización tanto a nivel regional como agregado.

Anexo Metodológico 1. Índice de Moran

La forma más común de contrastar la presencia o ausencia de un esquema de dependencia espacial a nivel univariante, es a través del Índice de Moran global y presenta la siguiente expresión:

$$I = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_{ij}^N w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{ij}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad i \neq j \quad [1]$$

Donde x_i refleja el valor de la variable cuantitativa x en la región i , \bar{x} es su media muestral, w_{ij} son los pesos de la matriz W , N es el tamaño muestral y $S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij}$.

Respecto a la distribución del contraste, cuando el tamaño muestral es suficientemente grande la I de Moran estandarizada sigue una distribución asintótica normal:

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{[V(I)]^{1/2}} \sim N(0,1) \quad [2]$$

Donde $E(I)$ y $V(I)$ son la esperanza y la varianza de I respectivamente.

En este caso un valor no significativo de $Z(I)$ llevará a no rechazar la hipótesis nula de no autocorrelación espacial, mientras que un valor significativo positivo (negativo) del mismo informará acerca de la presencia de un esquema de autocorrelación espacial positiva (negativa), es decir la presencia de una concentración de valores similares (disimiles) de x entre regiones vecinas.¹

Por otra parte, el contraste local I_i de Moran (análisis LISA por sus siglas en inglés de *Local Indicator of Spatial Association*) permite detectar agrupaciones de regiones o *clústeres* de regiones localizados en áreas específicas del territorio que concentraran valores más elevados o bajos de lo que cabría esperar en caso de encontrarnos ante una distribución homogénea, dominando la aleatoriedad en el resto del territorio. Con este tipo de estadísticos se obtiene un valor para cada región de la muestra, esto permite analizar cada unidad espacial por separado.

El contraste local I_i de Moran tiene la siguiente expresión:

$$I_i = \frac{z_i}{\sum_i z_i^2 / N} \sum_{j \in J_i} w_{ij} z_j \quad [3]$$

Donde z_i es el valor correspondiente a la región i de la variable normalizada y J_i el conjunto de regiones vecinas a i . Siguiendo una hipótesis de distribución aleatoria, la esperanza del citado estadístico es:

$$E_a(I_i) = -\frac{W_i}{N-1} \quad [4]$$

Donde W_i es la suma de todos los elementos de la fila correspondiente a la región i , $\sum_j w_{ij}$

De forma similar al estadístico global, se asume la hipótesis de que la I_i estandarizada se distribuye según una normal $N(0,1)$. Tras su estandarización, un valor positivo (negativo) del contraste I_i indica la existencia de un *clúster* de valores similares (disimiles) de la variable analizada alrededor de la región i . El contraste local I_i de Moran no solo detecta *clústeres* de valores similares o disimiles, también detecta esquemas donde la región i muestra valores significativamente elevados de x mientras que sus regiones vecinas presentan valores significativamente bajos de la misma, o si, por el contrario, son las regiones vecinas a i las que muestran valores muy elevados en comparación al observado en i .

Anexo Metodológico 2. Modelos Basados en Agentes

En este anexo se presentan los elementos en torno a la modelación basada en agentes como la explicación de los conceptos, el diseño de un modelo y el concepto de emergencia.

Agentes

Son las entidades auto-contenidas³⁶ que cuentan con características particulares y que a partir de la interacción con otras pueden cambiar su estado en un sistema, por ejemplo: personas, empresas, organizaciones políticas, municipios, países, etc.³⁷

Espacio (Ambiente)

Al hablar de procesos de interacción, ello nos remite a pensar que los agentes se hallan situados en algún punto del espacio, lo que les permite acceder a ciertos niveles de información, tener un grado de “visión limitada del mundo” y establecer relaciones con determinados actores cercanos o distantes de él³⁸ de tal modo que ello nos lleve a indagar cómo es que ocurren fenómenos colectivos.

Reglas

Dependiendo de los supuestos de los cuales se parta, las relaciones entre los agentes deben modelarse de tal modo que se apeguen lo más posible a la realidad. Para ello se construyen pautas de comportamiento de los mismos con la finalidad de que éstas puedan arrojar resultados a nivel global.

Contando con los tres ingredientes mencionados es posible construir un Modelo Basado en Agentes para poder Simular lo que ocurre en una realidad determinada. Dependiendo de los intereses del investigador, de los alcances del propio tema de investigación, de su creatividad y de las habilidades en la manipulación de un software especializado, será el nivel de complejidad que se involucre en su modelo y de las conclusiones que de él puedan extraerse.

Existen varios de modelos exitosos construidos en un marco de análisis social, e inclusive en un contexto de estudios de tipo urbano, Gilbert (2008) en el capítulo uno de su libro *Agent Based Models* ofrece una breve compilación de ejemplos que recomendamos estudiar y tomar en cuenta para ver de manera práctica la aplicación y el uso de los MBAS como potente herramienta para el manejo de cuestiones de dinámica social, interacción y espacio. Los temas que se desarrollan en los modelos están: la segregación racial, dinámica de la opinión, comportamiento del consumidor, redes industriales, gestión de cadenas de oferta, mercados de electricidad, entre otros.

Diseño de un modelo

Por lo general en economía la construcción de los modelos que buscan explicar relaciones entre variables, suelen tener un nivel de simplificación que puede resultar criticable. Es sobre todo desde el punto

³⁶ Castañeda (2010) define a un agente como una unidad auto-contenida porque: “presenta reglas de comportamiento propias y autonomía de acción (auto-determinación y auto-activación), y cuyo desempeño se manifiesta como producto de la interacción con otros agentes y con el entorno en que se desenvuelve.” (p. 6)

³⁷ Nótese que este concepto de agente difiere en mucho del planteamiento concebido en economía neoclásica, en donde a los agentes se les ve como un *homo-economicus*, que solo se guía por sus preferencias y objetivos de maximización.

³⁸ Nigel Gilbert enfatiza: “Comúnmente, los ambientes representan espacios geográficos, por ejemplo, en modelos sobre segregación residencial, donde el ambiente simula algunas características físicas de la ciudad, y en modelos de relaciones internacionales donde el ambiente son los mapas de Estados y naciones” (Cederman, 1997). [Así citado por Gilbert, 2008, p. 8]

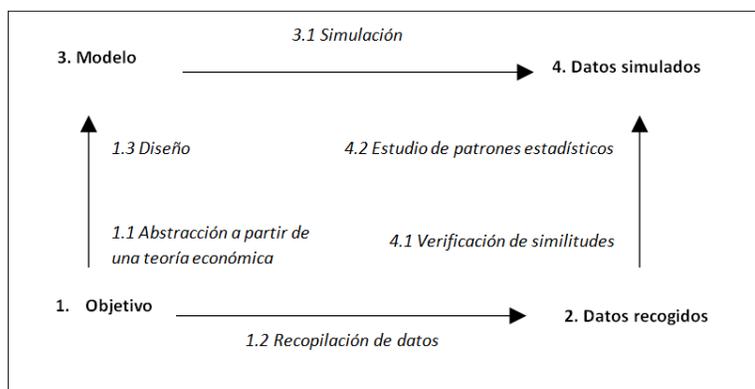
de vista de la economía ortodoxa en donde encontramos viva aún la idea de Milton Friedman (1953) sobre que lo de menos es la realidad de los supuestos y el modelo en sí, cuando encontramos que su capacidad de predicción es robusta en términos de una explicación de trayectorias y comportamientos futuros en las variables.

En cambio, la modelación basada en agentes exige que el investigador reflexione a priori, sobre la siguiente pregunta: ¿Cuál es el nivel de simplificación que debe tener el modelo dado que la realidad social no se limita a un problema puro de optimización de cada uno de los agentes que la componen? En este sentido el investigador se halla en la posibilidad de plantear una lista de conceptos y decidir con una mayor flexibilidad su inclusión y operacionalización. Los supuestos de los modelos basados en agentes, *por regla*, deben estar sujetos a tener una conexión con la realidad y la mejor manera de probar eso es pensar en su solidez cuestionándonos qué pasaría si al eliminar alguno de ellos o modificándolo no se altera sustancialmente el objetivo a estudiar³⁹.

A decir de Gilbert y Troitzsch (2006), el paso más complicado en la construcción de un modelo de este tipo es decidir qué necesita ser descartado y qué necesita ser incluido. Aquí pensamos que además de lo que ya discutimos en referencia a la metodología en el primer apartado, es preciso delinear la idea de que la modelación basada en agentes implica que el economista cuente con una estructura teórica que le permita establecer puentes conceptuales con la realidad y que estos sean sólidos desde el punto de vista de que no se derrumben al momento de extraer conclusiones y reflexiones propias de la operación y análisis de los resultados que arroja el modelo.

Independientemente de la precisión con la cual se aborde un problema determinado, haciendo crecer un modelo lo suficiente desde el punto de vista conceptual será posible establecer un acercamiento más de cerca con la realidad de un problema específico. Un MBAS empleado para el estudio de un problema de Economía Urbana y Regional (EUyR), desde nuestro punto de vista debe contar con un fundamento-teórico-económico cercano al modo en el cual opera esta metodología.

Figura 1. Simulación como método en economía



Fuente: Elaboración propia inspirado en Gilbert y Troitzsch (2006).

³⁹ Los modelos neoclásicos, al partir de una axiomática cerrada y acotada son bastante inflexibles. Si por ejemplo en un modelo de preferencias racionales decidiéramos pensar en que no todos los individuos de una economía tienen una elección óptima por cualquier circunstancia que se nos ocurra o pensamos en que la ubicación geográfica que es el ambiente de un individuo específico y que ello determina de alguna manera los resultados de ese modelo, resulta que la axiomática se invalida de manera inmediata y la operacionalidad del modelo es por lo demás imposible.

En la figura 1 se muestra de manera sintética el proceso completo de la aplicación de la metodología de los MBAS aunque en este apartado haremos énfasis en la explicación de los puntos comprendidos entre los pasos 1, 2 y 3. La adaptación de este esquema a la economía tiene una implicación fuerte en el sentido de la elección de una teoría adecuada a la propia estructura epistemológica de este mecanismo de estudio y análisis de un fenómeno determinado. Siguiendo a Castañeda (2010), cuando hablamos de un Sistema Adaptable Complejo⁴⁰ (CAS por sus siglas en inglés) :

[...] es conveniente dejar a un lado un planteamiento meramente deductivo, como el empleado en las matemáticas de corte neoclásico [...] A diferencia del análisis deductivo, donde se derivan consecuencias lógicas a partir de ciertos supuestos o axiomas, en los ejercicios de simulación se buscan identificar patrones a partir de la definición de reglas de comportamiento individual y de los valores asignados a las variables exógenas. Una vez que se corre un determinado número de simulaciones es posible inferir que valores de los parámetros inciden en el surgimiento de patrones específicos. (p. 37).

El argumento central es poder adaptar la diversidad de teorías económicas de modo tal que sea posible operacionalizar la idea de que se trata de un sistema en dónde se halla implícito el concepto de *evolución* en el sentido de que los procesos asociados con economía son de naturaleza dinámica y cambiante. La reflexión obtenida resulta de un largo debate y cuestionamiento al modo en que habitualmente se construyen las teorías y modelos, sobre todo en el lado ortodoxo, la pregunta es: ¿Los modelos deben adaptarse a la realidad o la realidad a los modelos? Los MBAS son una herramienta eficaz y poderosa que ayuda a superar la limitante sobre la adaptabilidad de los modelos a la realidad, pudiendo incorporar premisas que no sean irreales o tan simplificadoras y así eliminando suspicacias desde un principio. Desde esta perspectiva la modelística construida tiene un correlato cercano a la fenomenología de los problemas.

Cuando se ha decidido sobre qué estructura teórica tienen un ajuste *aceptable* y se ha asegurado que las premisas de las cuales partimos guardan una correspondencia lógica-epistemológica con el problema que deseamos abordar, los pasos restantes en la construcción del modelo consisten en hacer operacionalizables nuestras categorías por medio de las herramientas computacionales.

Como la metodología demanda el conocimiento a priori de ciertas regularidades empíricas, la recopilación de datos (punto 1.2 del esquema) y un análisis estadístico de estos permite por un lado, tener un primer modo de evaluación de nuestra elección teórica para saber si es robusta o no y segundo, ayuda a aclarar qué elementos son cruciales para el diseño de los propios agentes y sobre todo de las reglas de evolución del sistema. Así es posible *replicar el mundo* en una *plataforma artificial* que permita inferir sobre esas mismas regularidades y, lo más importante, *facilita* entender cómo es que se pueden dar cambios repentinos o irregularidades que no son evidentes o sencillas de asimilar en un estudio económico.

Es recomendable que las mediciones previas sean reportadas en cuadros donde se indique las magnitudes asociadas a los componentes del modelo, estos elementos sirven también de guía al lector y permiten darle un *carácter científico* a nuestra modelación por una razón simple: *lo hace replicable*, y por lo

⁴⁰ En realidad podemos decir que la economía es un Sistema Adaptable Complejo a razón de que no es una estructura que pueda ser diseñada a priori y de que los resultados agregados que son observables son resultado de una compleja red de interacciones que se dan entre agentes heterogéneos que además se retroalimentan positivamente al paso del tiempo, es decir, *no hay manera de predecir con certeza lo que ocurra en un tiempo determinado dada la naturaleza desequilibrante y diferenciada de sus componentes.*

mismo lo expone a mejoras y críticas⁴¹. A esto se suma la cuestión del tiempo, independientemente del *software* que se utilice, es cuestión del diseñador elegir una determinación temporal y cómo se mide esta, si se trata de pasos discretos o continuos (Grimm y et. al., 2006).

En el apartado anterior vimos que los tres elementos básicos de un MBAS son: los agentes, el espacio y las reglas. Entonces, partiendo de una óptica que podría pensarse un tanto rígida el proceso de diseño de un MBAS demanda al investigador seguir una secuencia en la elaboración del mismo. De manera general describimos lo que se debe tomar en cuenta para llevar a cabo este paso, para el diseño de los agentes es necesario enlistar sus características, el espacio o su representación está sujeta a las necesidades de la investigación y en función de eso se *diseña* la forma de implementación, las reglas en este contexto serán planteadas con una lógica acotada a la teoría económica que enmarque el estudio.

Cuadro 1. El diseño de los componentes de un MBAS

Agentes	Espacio	Reglas
Preguntas		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Qué tipo de entidades son modeladas? ▪ ¿Cómo podemos describirlas? ▪ ¿Existen jerarquías? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Cómo podemos representar el ambiente donde interactúan los agentes? ▪ ¿Se trata de una estructura regular o irregular? ▪ ¿Qué se necesita según los objetivos de la investigación? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Qué pautas de comportamiento tienen los agentes? ▪ ¿Las pautas seguidas se acercan a las acciones reales de los entes modelados?
Guía de Respuestas		
<p>Dependiendo del tema que se esté trabajando el diseño de los agentes estará encaminado a que tengan atributos que permitan responder a la necesidad de la investigación, recordemos que las entidades pueden ir desde personas hasta empresas, partidos políticos, organizaciones, instituciones, ramas industriales, etc.</p> <p>Ejemplo: deseamos investigar un problema de crecimiento económico de los municipios de una zona metropolitana, los atributos de cada unidad espacial (agente) serán: su tasa de crecimiento en un periodo, el nivel de escolaridad promedio de su población, medidas de infraestructura urbana, empresas y tipos de empresas. Todas estas características nos permitirán</p>	<p>Frecuentemente los modelos basados en agentes se construyen asumiendo regularidad en el espacio, por ejemplo, cuando trabajamos en una cuadrícula y nuestro interés es el de modelar mecanismos de transmisión de información a partir de un criterio de vecindad es válido pensar en un espacio isotrópico en donde todas las unidades espaciales tienen las mismas características y cada una de estas tiene el mismo número de vecinos según el criterio aplicado. En cambio si el modelo integra análisis territorial, digamos, de un área geográfica específica las cosas cambian, ya los agentes ubicados en un punto determinado no tendrán el mismo número de vecinos, es decir, no todos comparten el mismo "contexto espacial".</p>	<p>De acuerdo al marco teórico de referencia se hace el diseño de las reglas de evolución del sistema. Por ejemplo: si estamos modelando la competencia entre empresas, la teoría puede decirnos que por excelencia compiten con arreglo a su poder de fijación de precios y por esta vía pueden ganar mercado haciendo salir a los competidores menos eficaces. Las reglas entonces serían que cada empresa tiene un nivel de visión en el cual pueden monitorear los precios de mercado, si precio al cual ofrecen sus bienes es muy alto se les ordena a los agentes que asignen un precio menor y así poder competir en los casos en donde si estructura de costos se los permita o salir de la competencia cuando ocurra lo contrario.</p>

⁴¹ En nuestra opinión, la aplicación de esta metodología implica una apertura por parte del investigador en cuanto a un desembarazo de posturas de tipo dogmático con respecto a la teoría e incluso a posicionamientos de carácter ideológico. Es necesario que los modelos se expongan y sean sujetos a una serie de mejoras y/o críticas con la finalidad de darles un sentido realmente científico, desde el punto de vista de que otros puedan verificar su validez y operacionalidad en la solución de fenómenos y no tener una visión cerrada de que nuestro modelo se trata de una solución concluyente, eso es simplemente un absurdo y sobre todo en estudios de tipo social.

describirlos y ordenarlos en jerarquías.		
--	--	--

Fuente: Elaboración propia con base en el protocolo ODD.

El cuadro anterior consigna en términos de ejemplos los elementos que tienen que ser considerados para llevar a cabo el paso sobre el diseño de los elementos que componen un modelo. Atendiendo a la estructura del protocolo ODD⁴² si seguimos estas recomendaciones será más sencillo comunicar en qué consiste el modelo y elaborar el reporte de los resultados.

En síntesis, sobre el diseño y en la medida de lo posible es necesario expresar: (i) en forma de lista las características de los agentes y los parámetros asociados a su estado⁴³ en el sistema, (ii) cuando en el espacio se admita heterogeneidad proporcionar los detalles técnicos de cómo es su implementación y el tipo de consecuencias que ello supone en términos de la interacción entre los agentes y, (iii) las formas de interacción (reglas) en términos matemáticos, ello permite al lector tener una idea clara de cómo es que se llevan a cabo los procesos de interacción entre los diversos agentes.

Emergencia

El punto de partida aquí es la pregunta: ¿Qué es un fenómeno emergente en relación con la economía? De hecho no hay mucho debate en este sentido, salvo la discusión entre la visión clásica de emergencia bien sintetizada por Epstein (1999). Para dar respuesta a la pregunta, definamos qué es un fenómeno emergente como concepto aplicable en sentido general. Veamos el siguiente planteamiento:

Puesto en términos abstractos la teoría emergente afirma que hay ciertos conjuntos, integrados (digamos) por los componentes A, B y C con una relación R con los demás conjuntos... y que las propiedades características del conjunto R (A, B, C) no pueden, ni siquiera en teoría, ser *deducidos* de un conocimiento más completo de las propiedades de A, B y C en forma aislada o en conjuntos que no son de la forma R (A, B, C). (Broad, 1925, p. 61) [Énfasis en el original] (Así citado en Epstein, 1999, p. 53)

Entonces la tesis central de la emergencia es que lo que ocurre en el agregado de un CAS no es el resultado de una suma simple de los atributos de cada uno de sus componentes, sino de un proceso complejo de interacción entre los mismos a nivel local. Matizando la idea:

Muchas de las llamadas “propiedades emergentes” de “conjuntos” no son deducibles de las “partes” por una razón puramente lógica. Así la emergencia, como algo no deducible, es siempre relativa a alguna teoría (un conjunto de fórmulas bien formadas y reglas de inferencia), pero no es absoluta, como los clásicos lo sostienen. (Epstein, 1999, p. 54).

Los economistas pocas veces se preguntan cómo se llega a un número como el que representa el nivel de producto por ejemplo, si asumimos la economía como un CAS, sabemos ahora que esas cantidades que analizamos desde el punto de vista macroeconómico son mucho más que un cálculo a partir de la suma del consumo, la inversión y el gasto –en su acepción más sencilla– bajo la lupa de la teoría de la complejidad los

⁴² Las siglas ODD se refieren a las palabras *Overview, Design y Details*, que es un protocolo estándar para el reporte de MBAS propuesto por Grimm (2006) y otros 27 investigadores que tienen un amplio trabajo bajo esta metodología.

⁴³ El estado de los agentes se observa por ejemplo en el color que asumen con respecto a umbrales en el valor de determinada variable asociada a ellos, si son de una jerarquía determinada, si tienen una ubicación específica o tienen libertad de movilidad, etcétera, en general una variable de estado se refiere a características imputadas a cada uno y que los diferencia de los demás.

resultados globales del sistema surgen de un número muy grande de interacciones locales entre entidades de diferente jerarquía y que analíticamente no tienen una correspondencia como sería el caso del *agente representativo neoclásico*.

En síntesis y siguiendo la argumentación de Castañeda (2010), hablar de un proceso emergente no solamente requiere de la existencia de conectividad entre los componentes del sistema, es igualmente importante la existencia de retroalimentación entre ellas. En una sociedad forzosamente hay conexiones, siendo que su modo de organización es jerárquico en muchos sentidos –económico, político y culturalmente–, no obstante esto no garantiza la presencia de retroalimentación entre sus miembros. Cuando hay una influencia mutua entre los agentes, de forma que el comportamiento de cada uno de ellos cause efectos sobre los demás entonces es posible una dinámica de aprendizaje colectivo y sólo de esa manera estamos frente a un proceso emergente.

Referencias bibliográficas

- ABDUL, M., MD, A. y BEE, H. (2009). "Cellular automata modelling of hantavirus infection", en: *Chaos, Solitons and Fractals*, N° 41, pp. 2847-2853.
- ANDOLFATTO, D, y MACDONALD, G. (1998). "Technology diffusion and aggregate dynamics", en: *Review of economic dynamics*, Vol. 1, N° 2, pp. 338-370.
- ANSELIN, L. (1988), "Spatial econometrics: methods and models". Kluwer Academic Publishers.
- ANSELIN, L. (1992), "Space Stat tutorial. A workbook for using SpaceStat in the analysis of spatial data". Technical Report S-92-1, National Center for Geographic Information and Analysis, University of California. Santa Barbara, CA.
- ANSELIN, L. (1995), "Local Indicators of Spatial Association-LISA", *Geographical Analysis*, no 27, pp.93-113.
- ANSELIN, L. (2000), "Computing environments for spatial data analysis". *Journal of Geographical Systems* 2 (3), pp. 201–225.
- ANSELIN, L. (2005). *Exploring spatial data with GeoDa: a workbook*. Spatial Analysis Laboratory- University of Illinois. Disponible en: <https://geodacenter.asu.edu/>
- ANTONELLI, C. (2009)." The economics of innovation: from the classical legacies to the economics of complexity", en: *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 18 No. 7, pp. 611-646
- BARRO, R. y SALA-I-MARTIN X. (1992). "Convergence", en: *Journal of Political Economy*, Vol. 100, N° 2, pp. 223-251.
- BASU, D. (2010). "Marx-biased technical change and the neoclassical view of income distribution", en: *Metroeconomica*, No. 61 Vol. 4.
- BOLDRIN, M. y RUSTICHINI, A. (1994). "Growth and Indeterminacy in Dynamic models with Externalities" en: *Econometrica*, Vol. 62, No. 2, pp. 323 – 342.
- CAPELLO, R. y NIJKAMP, P. (2009). "Regional growth and development theories revisited", en: Capello, R. y Nijkamp, P. *Handbook of regional growth and development theories*, Edward Elgar Publishing Ltd. Massachusetts
- CASTAÑEDA, G. (2010). *Introducción a la sociomática. El estudio de los sistemas adaptables complejos en el entorno socioeconómico*. El Colegio de México. Centro de Estudios Económicos. Mimeo.
- DUMÉNIL, G. y LÉVY, D. (2003). "Technology and distribution: historical trajectories à la Marx", en: *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 52, pp. 201-233.
- DURLAUF (1991). "Nonergodic economic growth", en: Working Paper, NBER, Cambridge MA.

- EPSTEIN, J. (1999). "Agent-based computational models and generative social science". En: Economic Studies, Brookings Institution. Washington.
- ERTUR, C. y KOCH W. (2007). "Growth, technological interdependence and spatial externalities: theory and evidence", en: *Journal of Applied Econometrics*, No. 22, pp. 1033–1062.
- FERRETI, F. (2008). "Patterns of technical change: a geometrical analysis using the wage–profit rate Schedule", en: *International Review of Applied Economics*, Vol. 22, No. 5, pp. 565–583.
- FINGLETON, B. y LÓPEZ-BAZO, E. (2006). "Empirical growth models with spatial effects", en: *Papers on Regional Science*, Vol. 85, No. 2, pp. 177-198.
- FOLEY, D. y MARQUETTI, A. (2000). "El crecimiento económico desde una perspectiva clásica", en: Guerrero, D. *Macroeconomía y crisis mundial*, Trotta, Madrid.
- FOLEY, D. y MICHL, T. (1999). *Growth and distribution*, Harvard University Press, Cambridge.
- FOLEY, D. y TAYLOR, L. (2004). "A Heterodox Growth and Distribution Model", en: Working Paper, New School for Social Research.
- FRIEDMAN, M. (1953). *Essays in positive economics*, University of Chicago Press, Chicago.
- FRISCHMAN, B. (2009). "Spillovers theory and its conceptual boundaries", en: *William and Mary Law Review*. Vol. 51, N° 801, disponible online: <http://scholarship.law.wm.edu/wmlr/vol51/iss2/13/>
- GARDINER B., MARTIN, R. y TYLER, P. (2011) "Does spatial agglomeration increase national growth? Some evidence from Europe", en: *Journal of Economic Geography*, Vol. 11 , pp. 979–1006
- GILBERT, N. (2008). *Agent based models*. SAGE Publications, Londres.
- GILBERT, N. Y TROITZSCH, K. (2006). *Simulación para las ciencias sociales*, Segunda Edición, McGraw Hill, Barcelona.
- GOODWIN, R. (1967). "A Growth Cycle" en. Feinstein C, (ed.). *Socialism, Capitalism and Economic Growth. Essays presented to Maurice Dobb*. Cambridge University Press, Cambridge.
- GRIMM Y ET. AL. (2006). "A standard protocol for describing individual-based and agent-based models", en: *Ecological Modelling*, N° 198.
- HARVEY, D. (2007). *Espacios del capital: hacia una geografía crítica*, Akal, Madrid.
- HAUTSCH, N. y KLOTZ, S. (2003). "Estimating the neighborhood influence on decision makers: theory and an application on the analysis of innovation decisions", en: *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 52, pp. 97-113
- INEGI (2004). *Metodología de los censos económicos 2004*, México.
- IWAI, K. (2000). "A contribution to the evolutionary theory of innovation, imitation and growth", en: *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 43, pp. 167–198

- KELLER, W. (2002). "Geographic Localization of International Technology Diffusion", en: *The American Economic Review*, Vol. 92, No. 1, pp. 120-142
- KRUGMAN, P. (1991). "Increasing returns and economic geography", en: *Journal of Political Economy*, Vol. 99, N° 3, pp. 483-499.
- KRUGMAN, P. (1992). *Geografía y comercio*, Anthony Bosch, Barcelona.
- KURZ, H. y SALVADORI, N. (1995). *Theory of production: a long-period analysis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- LEPPÄLÄÄ, S., y DESROCHERS, P. (2010). "The division of labor need not imply regional specialization", en: *Journal of Economic Behavior & Organization*, No. 74 pp. 137-147.
- LUCAS, R. (1988): "On the Mechanics of Economic Development," en: *Journal of Monetary Economics*, N° 22, pp. 3-42.
- MANKIW, N., ROMER, D. y WEIL, D. (1992). "A contribution to the empirics of economic growth", en: *Quarterly Journal of Economics*, N° 107, pp. 407-437.
- MARQUETTI, A. (2002). "Analizing historical and regional patterns of technical change from a classical-Marxian perspective", en: *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 52, pp. 191-200.
- MARSALL, A. (1920). *Principles of economics*, octava edición, McMillan, Londres.
- MARX, K. (1971). *El Capital. Libro I capítulo VI (Inédito): Resultados del proceso inmediato de producción*, S. XXI, México.
- MARX, K. (2001). *El capital: crítica de la economía política*, Tomo I, Tercera Edición, FCE, México.
- MENDOZA, G. (2007). "Economic growth models and growth tendencies in major Latin American countries and in the United States, 1963-2003" en: *Investigación económica*, octubre-diciembre, año/vol. LXVI, número 262, UNAM, México.
- NELSON. R. y WINTER, S. (1982). *An evolutionary theory of economic change*, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge MA.
- PLUMMER, P. y SHEPPARD, E. (2007). "A methodology for evaluating regional political economy", en: Filgleton, B. (Editor). *New directions in economic geography*, Edward Elgar Publishing Limited, Massachusetts.
- REY, S. Y JANIKAS, M (2005). "Regional convergence, inequality, and space", en: *Journal of Economic Geography*, Vol. 5, pp. 155-176.
- RIGBY, D. y ESSLETZBICHLER, J. (2006). "Technological variety, technological change and a geography of production techniques", en: *Journal of Economic Geography*, Vol. 6, pp. 45-70.
- ROMER, P. (1986). "Increasing Returns and Long Run Growth," en: *Journal of Political Economy*, N° 94, pp. 1002-37.

- SHAIKH, A. (1984). "Cuentas de ingreso nacional y categorías marxistas", en: *Economía Teoría y Práctica*, N° 4, Invierno, UAM, México.
- SMITH, A. (2010). *The wealth of nations*, Capstone Publishing Ltd. Reino Unido.
- SOLOW, R. (1956). "A contribution to the Theory of Economic Growth", en: *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70. N° 1. Pp. 65-94.
- SOLOW, R. (1957). "Technical change and the aggregate production function", en: *Review of Economics and Statistics*, Vol. 39, N° 3, pp. 312-320.
- UZAWA, H. (1965). "Optimum technical change in an aggregative model of economic growth", en: *International Economic Review*, Vol. 6, N° 1, pp. 18-31.
- VALDIVIA, M. (2008). "Desigualdad regional en el centro de México. Una exploración espacial de la productividad en el nivel municipal durante el periodo 1988-2003", en: *Investigaciones Regionales*, N° 13, pp. 5-34.