

Ensayos

sobre POLÍTICA ECONÓMICA



PRODUCTIVIDAD REGIONAL
Y SECTORIAL EN COLOMBIA:
UN ANÁLISIS UTILIZANDO DATOS DE PANEL

ANA MARÍA IREGUI B.
LUIS FERNANDO MELO V.
MARÍA TERESA RAMÍREZ G.

ENSAYOS SOBRE POLÍTICA ECONÓMICA,
VOL. 25, NÚM. 53,
EDICIÓN ESPECIAL PRODUCTIVIDAD Y CRECIMIENTO
PP. 18-65

Los derechos de reproducción de este documento son propiedad de la revista Ensayos Sobre Política Económica (ESPE). El documento puede ser reproducido libremente para uso académico, siempre y cuando no se obtenga lucro por este concepto y además, cada copia incluya la referencia bibliográfica de ESPE. El(los) autor(es) del documento puede(n) además poner en su propio website una versión electrónica del mismo, pero incluyendo la referencia bibliográfica de ESPE. La reproducción de esta revista para cualquier otro fin, o su colocación en cualquier otro website, requerirá autorización previa de su Editor de ESPE.

REGIONAL AND SECTORAL PRODUCTIVITY IN COLOMBIA: AN ANALYSIS USING PANEL DATA

ANA MARÍA IREGUI B.
LUIS FERNANDO MELO V.
MARÍA TERESA RAMÍREZ G.*

* The opinions contained are those of the authors and do not represent those of the Banco de la República or its Board of Directors. We thank the comments and suggestions of Carlos Pombo, Jesús Otero, Pilar Esguerra, Carlos Medina and the participants of seminar of *Ensayos sobre Política Económica*, held in Bogotá in November 23-24, 2006. We also thank the assistance of Katherine Aguirre, Óscar Becerra and Carlos Sandoval.

Respectively, the authors are: Senior Researcher; Senior Econometrist and Senior Researcher of the Banco de la República.

E-mails: airegubo@banrep.gov.co
lmelove@banrep.gov.co
mramirgi@banrep.gov.co

Document received 10 April 2006; final version accepted 17 October 2006.

To incorporate regional differences in the productivity analysis, this paper estimates total factor productivities (TFP) and factor elasticities for the Colombian manufacture industry, by metropolitan area and industrial sector, during the 1975-2000 period. To this end, we use the data panel approach and its recent developments regarding unit roots and panel cointegration. The results show high heterogeneity of factor elasticities both at regional and sectoral level. Regarding the productivity parameters, we find that the more productivity sectors are beverages, the manufacture of chemical substance, and the manufacture of paper and its products.

JEL Classification: C23, D24, L60, R30.

Keywords: total factor productivity (TFP), regional economics, panel data, Colombia.

PRODUCTIVIDAD REGIONAL Y SECTORIAL EN COLOMBIA: UN ANÁLISIS UTILIZANDO DATOS DE PANEL

ANA MARÍA IREGUI B.
LUIS FERNANDO MELO V.
MARÍA TERESA RAMÍREZ G.*

Con el objetivo de incorporar las diferencias regionales en el análisis de la productividad, en este artículo se estima la productividad total de los factores (PTF) y las elasticidades de los factores para la industria manufacturera colombiana, por área metropolitana y sector industrial, durante el período 1975-2000. Para este fin, se utiliza la metodología de datos de panel y los desarrollos recientes de pruebas de raíz unitaria y cointegración para paneles. Al estimar las elasticidades factoriales tanto a nivel regional como sectorial, se encontró una gran heterogeneidad entre ellas. En cuanto a los parámetros de productividad, los sectores industriales más productivos son el de industria de bebidas, fabricación de sustancias químicas industriales y fabricación de papel y productos de papel.

Clasificación JEL: C23, D24, L60, R30.

Palabras clave: productividad total de los factores (PTF), Colombia, economía regional, datos de panel.

* Los resultados y opiniones son responsabilidad exclusiva de los autores y su contenido no compromete al Banco de la República ni a su Junta Directiva. Se agradecen los comentarios y sugerencias de Carlos Pombo, Jesús Otero, Pilar Esguerra, Carlos Medina y de los participantes del seminario anual de la revista *Ensayos sobre Política Económica*, el cual versó acerca de productividad y crecimiento, llevado a cabo el 23 y 24 de noviembre de 2006. Se agradece también la colaboración de Katherine Aguirre, Óscar Becerra y Carlos Sandoval.

Los autores son investigadoras principales y econometrista principal del Banco de la República.

Correos electrónicos:
airegubo@banrep.gov.co
lmelove@banrep.gov.co,
mramirgi@banrep.gov.co

Documento recibido el 10 de abril de 2006; versión final aceptada el 17 de octubre de 2006.

I. INTRODUCCIÓN

La productividad es una variable que refleja cuán eficientemente una economía utiliza sus recursos para producir bienes y servicios. En Colombia, los estudios sobre productividad nacional a nivel agregado y/o por sectores se remontan a la década de los ochenta (por ejemplo, Sandoval, 1982). Más recientemente, Chica (coord., 1996) presenta los resultados de un estudio nacional sobre determinantes de la productividad para los sectores industrial, agropecuario y de servicios, en donde se incluyen capítulos sobre sectores específicos, como el de textiles y confecciones (Zuleta, 1996), papel e imprentas (Corchuelo, 1996), industria petroquímica y de plásticos (Cárdenas, 1996) y el sector de bienes de capital (Bonilla, 1996). Adicionalmente, Garay (1998, capítulo 13) presenta una reseña bastante detallada de la evidencia empírica del cambio técnico y la productividad en Colombia, mientras que González (2004) realiza otra sobre metodologías de estimación y determinantes de la productividad en Colombia.

La productividad de la industria manufacturera ha sido objeto constante de estudio; en efecto, no solamente se han realizado trabajos sobre la productividad de los factores y sus determinantes (Pombo, 1999a, 1999b; Arbeláez, Echavarría y Gaviria, 2001), sino también cómo ésta se relaciona con variables como la tasa de cambio y los salarios reales (Clavijo 1990, 1991), la apertura económica (Medina, Meléndez y Seim, 2003; Fernández, 2003; Clavijo, 2003), la reasignación de recursos (Eslava, Haltiwanger, Kugler y Kugler, 2004), y la criminalidad (Rubio, 1995), entre otras.

No obstante lo anterior, la literatura colombiana sobre productividad regional es escasa. Cárdenas, Escobar y Gutiérrez (1995) utilizan un panel de los departamentos

colombianos para efectuar estimaciones agregadas; de otra parte, la Secretaría de Hacienda Distrital (2003a, 2003b) ha llevado a cabo estimaciones únicamente para Bogotá.

Con todo, el objetivo principal de este trabajo es estimar la productividad total de los factores (PTF) y las elasticidades de los factores para la industria manufacturera colombiana por área metropolitana y sector industrial, para así poder incorporar diferencias regionales en el análisis de la productividad en Colombia¹. Para este fin, se utilizará la metodología de datos de panel y los desarrollos recientes de pruebas de raíz unitaria y cointegración para paneles. En investigaciones futuras, a partir de los resultados encontrados en este artículo, se estudiarán los determinantes de la PTF a nivel regional y su evolución a lo largo del tiempo; así como las causas de las diferencias en las elasticidades factoriales, tanto a nivel regional como sectorial.

Este documento consta de cinco secciones, en donde ésta es la primera; en la siguiente se realiza una breve revisión de la literatura sobre los estudios regionales de productividad; en la tercera, se presenta una descripción de los datos empleados y de los hechos estilizados de la industria manufacturera en Colombia; en la cuarta, se describe la metodología de estimación utilizada y se presentan los resultados y, por último, en la sección final se incluyen algunos comentarios al documento.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A nivel regional o local, la literatura colombiana sobre productividad es escasa: una de las excepciones es Cárdenas, Escobar y Gutiérrez (1995), quienes, en su análisis de la contribución de la infraestructura a la actividad económica, estiman un panel para los departamentos colombianos durante 1980 a 1991, utilizando el producto por habitante, el nivel de empleo y el acervo de capital público. De acuerdo con sus resultados, la elasticidad del empleo se ubica alrededor de 0,7, mientras que la del capital es cercana a 0,24; sin embargo, en dicho documento no se estima una elasticidad para cada uno de los departamentos.

¹ En este trabajo se sigue a Marrocu *et al.* (2000), quienes estiman la PTF a nivel regional y sectorial para el caso de Italia.

En el caso de Bogotá, la Secretaría de Hacienda Distrital (2003a) cuantificó la productividad media y la productividad marginal del capital y del trabajo, así como la productividad multifactorial para la economía bogotana en el período 1976-2002: cuando se observó que la ciudad se ha convertido, principalmente, en una economía terciaria; adicionalmente, se encuentra que la PTF presenta una tendencia negativa, que podría ser resultado del lento mejoramiento de la capacidad técnica de la fuerza de trabajo, de la recomposición sectorial del empleo y del producto, de la reducción de la inversión privada y de la existencia de gran número de micro, pequeñas y medianas empresas con tecnologías obsoletas². Para calcular la PTF los autores utilizaron el modelo neoclásico de crecimiento, con el cual encontraron una elasticidad capital-producto de 0,59 y una de trabajo-producto de 0,40, lo que indica que las variaciones del capital tienen un mayor impacto que las del trabajo sobre el producto.

En otro estudio de la Secretaría de Hacienda Distrital (2003b) sobre cambio tecnológico, productividad y crecimiento de la industria en Bogotá, se destaca el marcado sesgo de la economía de la capital hacia el mercado interno, ya que menos del 2% de su producción industrial se destina a la exportación; además, gran parte de la demanda local es satisfecha con la producción generada por pequeñas y medianas empresas, que se han caracterizado históricamente por sus limitaciones en cuanto a innovación tecnológica (p. 7). Sin embargo, vale la pena destacar el aumento en la oferta exportable de los sectores industriales intensivos en capital y alta tecnología, superando a aquellos sectores intensivos en mano de obra no calificada, junto con el desarrollo de una infraestructura de servicios para acompañar el proceso de innovación industrial. Al estimar la PTF para la industria bogotana los autores obtuvieron coeficientes para el capital y el empleo de 0,27 y 0,72, respectivamente.

En cuanto a la literatura internacional, se encuentran estudios para la economía española en donde se analizan las fuentes del crecimiento de la economía a nivel sectorial (Estrada y López-Salido, 2001), la convergencia entre las regiones españolas (De la Fuente, 2002), así como el crecimiento de la productividad regional (Salinas-Jiménez, 2003). Por otro lado, existen trabajos en donde se compara la PTF entre países industrializados (Harrigan, 1999) y el crecimiento de la productividad entre países desarrollados, en relación con los Estados Unidos (Gust y Márquez, 2001), entre otros.

² De acuerdo con la Cámara de Comercio de Bogotá, de las 220.958 empresas registradas a junio de 2003, el 86% eran microempresas, el 9,7% eran pequeñas y el 2% eran medianas empresas (Secretaría de Hacienda, 2003a, p. 28).

La única referencia que encontrada en donde se realiza estimaciones de la PTF a nivel regional y sectorial es la de Marrocu, Paci y Pala (2000), quienes estiman funciones de producción de largo plazo para 20 regiones y 17 sectores italianos, utilizando una tecnología Cobb-Douglas para el período 1970-1994. Este tipo de estimaciones son apropiadas para analizar dicha economía, ya que las regiones italianas han experimentado diferentes, y en algunos casos divergentes, patrones de desarrollo. Además, los autores emplean una base de datos que les permite estimar funciones de producción para toda la economía, utilizando un panel en tres dimensiones con efectos fijos tanto para regiones como para sectores, es decir, el panel consta de las dimensiones temporal, regional y sectorial.

Utilizando las pruebas de cointegración de Pedroni (1999), Marrocu *et al.* (2000) encuentran que las series para los paneles regionales y sectoriales, aunque individualmente no estacionarias, exhiben una dinámica de largo plazo común; por tanto, las funciones de producción estimadas son robustas con respecto al problema de regresión espuria, resultado que les permite continuar con el análisis del desempeño económico de los sectores y regiones italianas. En cuanto a los resultados, encuentran que las elasticidades de los factores difieren entre regiones y sectores: al considerar las estimaciones nacionales, observan una elasticidad del acervo de capital mucho más alta (0,52), que aquella obtenida con la metodología tradicional (donde se asume que esta elasticidad es igual a la participación del capital en el ingreso total, la cual varía entre 0,35 y 0,38). Por su parte, la elasticidad del trabajo estimada fue de 0,47. La suma de los coeficientes es cercana a 1, lo que señala la presencia de rendimientos constantes a escala (RCE) a nivel nacional³.

Con respecto a los niveles tecnológicos, como era de esperarse, Marrocu *et al.* (2000) encuentran grandes diferencias entre regiones: al mirar la distribución geográfica se observa que los niveles más altos son los de las regiones del norte de Italia, mientras que los más bajos son se encuentran al sur. Estos resultados claramente confirman el bien conocido dualismo entre el norte y el sur que todavía caracteriza la economía italiana. En cuanto a los sectores, el más eficiente es el de instituciones de crédito y seguros, seguido por edificios y construcciones; mientras que la agricultura resulta ser el sector más deficiente.

³ Los autores no realizaron una prueba formal para los RCE, ya que los parámetros estimados no se distribuyen normalmente.

Al permitir que las elasticidades varíen entre regiones y sectores, los resultados cambian considerablemente reflejando una gran heterogeneidad: la elasticidad del capital varía entre 0,21 (Basilicata) y 0,69 (Venecia); con lo cual es importante mencionar que los valores altos están asociados con las provincias centrales y del norte. Una gran variabilidad entre regiones también se encontró en las elasticidades del trabajo, que se estimaron en el rango 0,1 (Calabria) y 0,84 (Molise).

A nivel sectorial, la estimación de las funciones de producción también se caracteriza por una heterogeneidad considerable en las elasticidades de los insumos; en general, el sector de manufacturas tiene elasticidades altas del capital con respecto a los servicios. En cuanto al trabajo, el valor más alto se encuentra en los servicios no transados en el mercado.

En general, los resultados confirman la importancia de tener en cuenta el alto nivel de heterogeneidad existente entre regiones y sectores, y claramente muestran que las elasticidades de los factores y los niveles tecnológicos son muy sensibles a la información incluida en el panel; por tanto, se requiere de un análisis de crecimiento regional más riguroso, que sea robusto al sesgo introducido al emplear elasticidades nacionales.

III. DATOS

Se parte de una función de producción Cobb-Douglas con retornos constantes a escala⁴, con el objetivo de estimar una función de producción para las principales áreas metropolitanas y sectores industriales colombianos durante 1975 a 2000⁵.

$$Y_{ijt} = A_{ij} K_{ijt}^{\alpha} L_{ijt}^{1-\alpha}, \quad (1)$$

⁴ Existe evidencia estadística que sugiere que el supuesto de RCE es soportado por los datos. Al utilizar la metodología de Larsson *et al.* (2001), en un contexto de panel, para evaluar esta restricción se obtiene que esta hipótesis no se rechaza a nivel de *significancia* del 1% (estadística: 1,08, *p-value*: 0,03). En esta prueba se excluyó a Pereira, ya que como se verá más adelante, al incluir dicha ciudad se presentan elasticidades atípicas comparadas con las de las otras ciudades.

⁵ Hay información de la Encuesta anual manufacturera (EAM) hasta 2004; sin embargo, la información se tomó hasta 2000, debido a que a partir de 2001 hubo un cambio en la aplicación de la Clasificación industrial internacional uniforme (CIIU) por parte del DANE, ya que se pasó de la Revisión 2 a la Revisión 3, y no existe una correlativa uno a uno a nivel de tres dígitos, que es el nivel de desagregación que se utilizó.

donde Y es el valor agregado, K el acervo de capital, L el trabajo, A la productividad y α es un parámetro positivo. Los subíndices i, j y t representan las áreas metropolitanas, los sectores industriales y el tiempo, respectivamente. Tomando logaritmos de la ecuación (1) obtenemos:

$$\ln Y_{ijt} = \ln A_j + \alpha \ln K_{ijt} + (1 - \alpha) \ln L_{ijt}, \quad (2)$$

donde (2) es la ecuación por estimar⁶.

Para estimar la ecuación (2) se utiliza un panel de datos en tres dimensiones, en donde se permite heterogeneidad tanto por área metropolitana como por sector. Se utiliza información anual del valor agregado (VA), trabajo (L) y capital (K) de la industria manufacturera para las áreas metropolitanas de Bogotá, Cali, Medellín, Manizales, Barranquilla, Bucaramanga, Pereira, Cartagena y el resto del país. Los datos provienen de la EAM del DANE, y se toma la información (CIIU a tres dígitos) de los 18 sectores industriales para los cuales existen series completas, ya que la metodología de estimación requiere que el panel sea balanceado⁷. En particular, el valor agregado se expresa en pesos de 1994, el trabajo corresponde al número de personas ocupadas⁸, y el acervo de capital se construye siguiendo la metodología del inventario perpetuo (en el Anexo 1 se describen la fuente, definición y forma como se construyeron dichas variables).

6 En el ejercicio empírico no se incluyó una variable de capital humano debido a que la información de ésta por sector y región es muy limitada, lo que hace muy difícil incorporar una buena *proxy* de capital humano en la estimación; además, la omisión de capital humano podría sesgar los resultados.

7 Estos sectores son: fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas (311); fabricación de alimentos diversos (312); industria de bebidas (313); fabricación de textiles (321); fabricación de prendas de vestir, excepto calzado (322); fabricación de calzado, excepto de caucho o plástico (324); industria de la madera y productos de madera y corcho, excepto muebles (331); fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos (332); fabricación de papel o productos de papel (341); imprentas, editoriales e industrias conexas (342); fabricación de sustancias químicas industriales (351); fabricación de otros productos químicos (352); productos de plásticos NEP (356); fabricación de otros productos minerales no metálicos, excepto los derivados del petróleo y el carbón (369); industrias básicas de hierro y acero (371); fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo (381); construcción de maquinaria, excepto eléctrica (382), y material de transporte (384).

8 En la función de producción no se consideró la división entre trabajo calificado y no calificado, debido a que hubo un cambio en las definiciones de personal ocupado según las categorías de la EAM durante 1992 a 2000; por tanto, la información sobre categorías, en especial la de técnicos, no se puede inferir de forma confiable.

En el Cuadro 1 se presenta un resumen de estadísticas de las variables utilizadas por área metropolitana: como se puede apreciar (panel A), durante el período de estudio el valor agregado creció para el total nacional a una tasa anual promedio de 2,76%, mientras que el acervo de capital y el trabajo lo hicieron a una tasa anual promedio de 4,54% y 0,98%. Por períodos, en general, las tasas de crecimiento promedio del valor agregado y del capital son menores en 1991-2000 que en 1975-1990; por el contrario, el trabajo, en la mayoría de las áreas metropolitanas creció más en el último período (1991-2000).

Con respecto a la productividad media del trabajo (VA/L ; Cuadro 1, panel B), se observa que en todas las ciudades su crecimiento promedio durante 1991-2000 fue menor al del período 1975-1990, lo que estaría indicando que el proceso de apertura económica no fue acompañado de una profunda reestructuración empresarial. A diferencia de VA/L , la productividad media del capital (VA/K ; Cuadro 1, panel C), decreció en todas las áreas metropolitanas durante 1975-1990; en el período 1991-2000 las tasas de crecimiento promedio de VA/K continuaron siendo negativas, con excepción de Cali, Cartagena y el resto del país. Esto sugeriría que el crecimiento de la inversión pasada no estuvo acompañado por el crecimiento de la demanda.

En el Cuadro 2 se presenta un resumen de estadísticas para los principales sectores industriales colombianos: durante 1975 a 2000, el sector productos de plástico no especificados (356) exhibió, en promedio, las más altas tasas de crecimiento tanto en el valor agregado (6,92%) como en el factor trabajo (4,56%), mientras que el sector industrias básicas de hierro y acero (371) registró, en promedio, la tasa de crecimiento mas alta del acervo de capital (11%). De otra parte, el sector fabricación de textiles (321) presenta, en promedio, una de las tasas más bajas de valor agregado (0,01%), trabajo (2,3%) y capital (-0,87%). Por períodos, en general, se observa que por sectores entre 1991 y 2000, en promedio, las tasas de crecimiento anual del valor agregado y el capital son menores a las observadas entre 1975 y 1990, En el caso del trabajo no se observa un patrón definido (Cuadro 2, panel A).

En cuanto al VA/L (Cuadro 2, panel B), en promedio, ésta es mayor para los sectores manufactureros: industria de bebidas (313), fabricación de papel y productos de papel (341), fabricación de sustancias químicas industriales (351), e industrias básicas de hierro y acero (371); este resultado podría indicar que en estos sectores hubo sustitución de trabajo por capital, como lo sustenta la evolución de la relación K/L , la cual aumentó a lo largo del período de estudio (Cuadro 2, panel C). Por el contrario, los sectores fabricación de prendas de vestir, excepto calzado (322) y fabricación de

Cuadro 1
Estadísticas por área metropolitana

Panel A									
Ciudad	Tasa de crecimiento anual (%)								
	Promedio 1975-2000			Promedio 1975-1990			Promedio 1991-2000		
	Valor agregado (VA)	Capital (K)	Trabajo (L)	Valor agregado (VA)	Capital (K)	Trabajo (L)	Valor agregado (VA)	Capital (K)	Trabajo (L)
Bogotá	2,84	3,86	1,25	4,52	5,07	1,57	0,15	1,91	0,72
Cali	2,32	4,53	1,11	3,05	6,97	-0,10	1,15	0,62	3,05
Medellín	2,07	3,91	0,68	4,04	6,12	0,14	-1,08	0,37	1,54
Manizales	3,32	5,39	2,02	4,74	7,94	0,85	1,03	1,32	3,89
Barranquilla	1,56	4,21	0,17	3,28	5,84	-1,25	-1,20	1,59	2,44
Bucaramanga	2,80	4,44	-0,11	4,67	5,64	0,41	-0,20	2,53	-0,94
Pereira	3,67	7,55	1,07	4,10	9,46	1,12	3,00	4,49	0,98
Cartagena	3,01	4,34	1,28	2,67	5,42	0,38	3,54	2,61	2,71
Resto del país	4,83	5,55	1,47	5,56	8,04	0,86	3,66	1,57	2,44
Total nacional	2,76	4,54	0,98	4,01	6,48	0,61	0,76	1,44	1,57

Panel B						
Ciudad	VA/L (índice total nacional = 100)			VA/L (tasa de crecimiento anual, %), promedio		
	Promedio 1975-2000	1975	2000	1975-2000	1975-1990	1991-2000
Bogotá	86,59	94,11	83,65	1,87	2,92	0,20
Cali	116,28	117,07	111,37	2,09	3,19	0,34
Medellín	90,13	85,82	77,58	1,62	3,83	-1,90
Manizales	89,96	107,26	76,53	1,86	4,04	1,63
Barranquilla	111,94	117,36	99,39	2,04	4,67	-2,15
Bucaramanga	69,57	79,68	73,47	3,32	4,60	1,27
Pereira	78,19	75,33	84,45	2,91	3,12	2,57
Cartagena	170,74	175,34	165,94	1,51	2,10	0,58
Resto del país	121,54	106,36	142,38	3,53	4,81	1,48
Total nacional	100,00	100,00	100,00	2,06	3,39	-0,06

Cuadro 1 (continuación)
 Estadísticas por área metropolitana

Panel C

Ciudad	VA/K (índice total nacional = 100)			VA/K (tasa de crecimiento anual, %), promedio		
	Promedio 1975-2000	1975	2000	1975-2000	1975-1990	1991-2000
Bogotá	109,14	98,54	106,73	-0,93	-0,47	-1,66
Cali	121,88	128,28	121,80	-1,94	-3,51	0,57
Medellín	125,89	115,41	118,52	-1,63	-1,83	-1,30
Manizales	161,75	187,37	142,97	-1,77	-2,84	-0,06
Barranquilla	101,29	114,28	88,57	-2,38	-2,22	-2,63
Bucaramanga	129,67	138,31	111,12	-1,44	-0,80	-2,47
Pereira	151,76	214,05	128,70	-3,14	-4,21	-1,42
Cartagena	75,76	68,24	75,35	-1,08	-2,30	0,89
Resto del país	70,19	73,42	83,68	-0,33	-1,87	2,13
Total nacional	100,00	100,00	100,00	-1,60	-2,21	-0,62

Fuente: DANE, EAM, cálculos de los autores.

muebles y accesorios (332) presentan, en promedio, las menores VA/L , consistentes con el hecho de que sus relaciones K/L son las más bajas de los sectores incluidos, indicando que hubo sustitución de capital por trabajo.

Por su parte, VA/K (Cuadro 2, panel D) es mayor para los sectores industria de bebidas (313), fabricación de prendas de vestir, excepto calzado (322), y fabricación de calzado, excepto de caucho y plástico (324), como resultado de bajas tasas de inversión (I/VA) (Cuadro 2, panel E) y de acumulación de capital (K/K_{t-1}) (Cuadro 2, panel F). Por el contrario, los sectores industrias básicas de hierro y acero (371) y fabricación de otros productos minerales no metálicos, excepto los derivados del petróleo y el carbón (369) presentan la VA/K más baja de la muestra; estos sectores han tenido altas I/VA , así como altas tasas de acumulación de capital. Es importante mencionar que durante 1991 a 2000 las tasas de crecimiento promedio de VA/K presentaron grandes caídas, lo cual sugeriría que hubo sobreinversión que no fue compensada por un incremento en la demanda; por ejemplo: en el sector fabricación de

Cuadro 2
Estadísticas por sectores industriales

Sector ^{a/}	Panel A								
	Tasa de crecimiento anual (%)								
	Promedio 1975-2000			Promedio 1975-1990			Promedio 1991-2000		
	Valor agregado (VA)	Capital (K)	Trabajo (L)	Valor agregado (VA)	Capital (K)	Trabajo (L)	Valor agregado (VA)	Capital (K)	Trabajo (L)
311	4,68	4,49	2,41	5,07	5,45	1,78	4,07	2,95	3,41
312	4,42	5,99	4,02	6,63	6,53	2,88	0,88	5,13	5,85
313	2,63	9,25	0,79	4,84	11,31	1,20	-0,90	5,94	0,13
321	0,01	2,27	-0,87	2,30	5,66	-2,00	-3,64	-3,17	0,93
322	5,21	4,30	2,17	5,20	5,42	1,36	5,22	2,50	3,46
324	2,84	4,48	0,32	9,39	9,08	3,29	-7,64	-2,88	-4,43
331	1,85	6,54	-1,35	2,28	12,17	-1,29	1,15	-2,48	-1,46
332	2,08	2,13	-0,40	3,58	3,69	1,37	-0,34	-0,37	-3,23
341	4,32	3,88	1,33	5,00	8,18	0,09	3,23	-2,99	3,32
342	4,59	5,96	1,91	4,34	8,90	1,80	4,99	1,26	2,08
351	2,03	2,81	0,45	4,74	4,32	3,09	-2,32	0,38	-3,77
352	4,36	3,35	2,22	3,88	2,63	0,78	5,14	4,50	4,54
356	6,92	6,25	4,56	8,38	8,10	3,88	4,57	3,27	5,65
369	4,38	6,25	-0,43	4,98	10,01	0,48	3,41	0,25	-1,89
371	4,33	11,00	-1,00	5,66	17,32	-1,48	2,19	0,90	-0,22
381	1,52	1,10	-0,30	3,39	2,16	-0,20	-1,46	-0,59	-0,47
382	1,49	3,81	0,63	3,05	5,64	0,44	-1,00	0,88	0,93
384	2,86	2,93	-0,14	6,64	5,77	0,76	-3,20	-1,62	-1,57
Total	2,76	4,54	0,98	4,01	6,48	0,61	0,76	1,44	1,57

Cuadro 2 (continuación)
Estadísticas por sectores industriales

Sector ^{a/}	Panel B					
	VA/L (índice total nacional = 100)			VA/L (tasa de crecimiento anual, %) Promedio		
	Promedio 1975-2000	1975	2000	1975-2000	1975-1990	1991-2000
311	100,8	105,7	103,3	2,50	3,37	1,10
312	132,8	155,8	92,7	0,51	3,53	-4,34
313	243,3	274,8	220,5	1,98	3,66	-0,70
321	78,0	74,0	59,6	1,17	4,26	-3,77
322	34,1	34,3	41,0	3,42	3,77	2,84
324	38,0	32,0	32,8	2,89	6,04	-2,14
331	59,0	62,6	66,3	4,10	4,46	3,51
332	30,3	32,1	36,3	2,68	2,26	3,35
341	169,4	140,7	170,7	3,43	4,87	1,13
342	73,5	67,6	82,3	2,69	2,47	3,05
351	240,7	247,9	273,3	1,92	2,04	1,73
352	143,7	144,0	154,9	2,41	3,13	1,27
356	73,9	59,5	71,8	2,41	4,28	-0,59
369	125,6	102,7	189,0	4,80	4,42	5,42
371	162,0	103,5	207,4	5,38	7,53	1,94
381	62,4	72,2	59,3	2,08	3,53	-0,25
382	58,2	70,7	49,0	1,22	2,68	-1,10
384	99,5	129,1	80,8	2,97	5,59	-1,21
Total	100,0	100,0	100,0	2,06	3,39	-0,06

Cuadro 2 (continuación)
Estadísticas por sectores industriales

Panel C

Sector ^{a/}	K/L (índice total nacional = 100)			K/L (tasa de crecimiento anual, %) Promedio		
	Promedio 1975-2000	1975	2000	1975-2000	1975-1990	1991-2000
311	114,5	143,5	103,5	2,51	3,74	0,56
312	119,0	147,8	112,1	2,78	4,29	0,36
313	173,9	84,1	273,1	8,45	9,96	6,03
321	82,6	68,1	57,8	3,53	8,02	-3,66
322	15,8	20,1	14,1	2,68	4,13	0,35
324	24,0	24,7	26,0	5,06	6,46	2,83
331	53,0	20,5	54,5	9,13	14,65	0,29
332	25,3	32,8	27,6	3,55	2,78	4,77
341	130,8	119,4	77,0	2,90	8,20	-5,57
342	68,0	60,1	64,9	4,40	7,13	0,02
351	338,9	473,7	390,6	2,78	1,66	4,59
352	106,7	178,3	98,3	1,60	2,08	0,83
356	77,2	104,7	65,0	2,16	4,51	-1,60
369	190,2	117,7	242,3	6,89	9,52	2,69
371	376,3	116,7	521,6	12,65	19,40	1,86
381	64,5	93,6	57,4	1,85	2,50	0,79
382	46,6	52,6	44,3	3,69	5,50	0,79
384	72,8	74,8	69,6	3,78	5,25	1,44
Total	100,0	100,0	100,0	3,86	5,90	0,60

Cuadro 2 (continuación)
Estadísticas por sectores industriales

Sector ^{a/}	Panel D					
	VA/K (índice total nacional = 100)			VA/K (tasa de crecimiento anual, %) Promedio		
	Promedio 1975-2000	1975	2000	1975-2000	1975-1990	1991-2000
311	85,4	73,7	99,8	0,27	-0,23	1,07
312	112,5	105,4	82,7	-1,16	0,49	-3,80
313	175,8	326,7	80,7	-5,75	-5,44	-6,25
321	98,0	108,7	103,2	-1,78	-2,88	-0,02
322	210,2	170,8	290,5	1,00	-0,12	2,81
324	156,5	129,7	126,2	-1,33	0,73	-4,63
331	133,7	304,9	121,6	-3,50	-8,15	3,94
332	117,6	97,9	131,4	0,11	0,13	0,06
341	130,1	117,9	221,5	1,31	-2,46	7,33
342	108,6	112,4	126,9	-0,94	-3,92	3,84
351	70,3	52,3	70,0	-0,63	0,63	-2,66
352	130,7	80,8	157,5	1,06	1,32	0,64
356	92,6	56,8	110,5	0,71	0,20	1,52
369	69,3	87,2	78,0	-1,00	-4,15	4,03
371	60,7	88,7	39,8	-2,72	-4,91	0,78
381	94,4	77,1	103,3	0,42	1,26	-0,93
382	124,0	134,6	110,6	-2,15	-2,29	-1,92
384	137,9	172,5	116,0	0,27	1,11	-1,07
Total	100,0	100,0	100,0	-1,60	-2,21	-0,62

Cuadro 2 (continuación)
Estadísticas por sectores industriales

Panel E

Sector ^{a/}	I/VA (índice total nacional = 100)			I/VA (tasa de crecimiento anual, %) Promedio		
	Promedio 1975-2000	1975	2000	1975-2000	1975-1990	1991-2000
311	107,7	146,8	125,3	0,54	3,33	-3,92
312	108,7	53,9	174,5	4,49	4,31	4,77
313	73,9	24,1	-42,1	10,63	23,87	-10,56
321	96,5	122,3	91,9	-7,16	4,72	-26,18
322	50,1	64,1	91,4	5,97	-1,08	17,25
324	63,1	92,8	-10,5	-55,20	6,02	-153,16
331	103,0	49,1	-33,3	7,94	16,30	-5,45
332	63,4	88,8	32,5	33,90	53,14	3,13
341	98,0	99,5	-49,1	-23,77	22,39	-97,63
342	113,5	122,0	144,9	8,28	11,54	3,07
351	107,1	124,8	146,9	13,36	16,41	8,47
352	56,1	92,1	88,5	-13,88	-22,24	-0,49
356	152,9	182,6	309,5	11,70	-2,21	33,96
369	172,6	101,6	-496,9	-5,45	11,67	-32,84
371	251,9	201,1	1.547,1	57,01	60,14	52,00
381	84,6	90,1	65,1	-13,47	-3,32	-29,72
382	65,1	85,3	14,5	-15,45	0,54	-41,03
384	67,5	71,0	-229,9	-12,80	-3,14	-28,26
Total	100,0	100,0	100,0	-2,58	0,78	-7,96

Cuadro 2 (continuación)
Estadísticas por sectores industriales

Sector ^{a/}	Panel F					
	K/K _(t-1) (índice total = 100)			K/K _(t-1) (tasa de crecimiento anual, %) Promedio		
	Promedio 1975-2000	1975	2000	1975-2000	1975-1990	1991-2000
311	100,0	102,6	101,8	-0,51	-0,55	-0,45
312	101,4	92,1	100,4	-0,08	0,17	-0,46
313	104,5	98,4	97,5	-0,25	0,39	-1,20
321	97,8	104,0	97,6	-0,63	-0,58	-0,70
322	99,8	100,8	104,8	-0,22	-0,42	0,07
324	99,9	102,0	94,5	-0,42	0,42	-1,69
331	101,9	106,7	92,7	-0,66	-0,49	-0,92
332	97,7	98,1	98,3	-0,34	0,05	-0,92
341	99,4	99,2	89,6	0,00	1,07	-1,60
342	101,4	105,6	101,4	-0,46	-0,45	-0,46
351	98,3	95,2	101,0	-0,06	0,56	-0,98
352	98,9	97,7	103,3	-0,21	-0,21	-0,21
356	101,6	97,5	105,4	0,01	-0,04	0,09
369	101,6	97,3	84,9	-0,82	0,10	-2,21
371	106,2	116,6	121,7	2,43	2,91	1,71
381	96,7	94,0	97,8	-0,32	-0,30	-0,34
382	99,3	103,9	98,2	-0,68	-0,58	-0,83
384	98,5	102,7	87,5	-1,00	-0,75	-1,37
Total	100,0	100,0	100,0	-0,49	-0,32	-0,74

a/ 311: fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas; 312: fabricación de alimentos diversos; 313: industria de bebidas; 321: fabricación de textiles; 322: fabricación de prendas de vestir, excepto calzado; 324: fabricación de calzado, excepto de caucho o plástico; 331: industria de la madera y productos de madera y corcho, excepto muebles; 332: fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos; 341: fabricación de papel o productos de papel; 342: imprentas, editoriales e industrias conexas; 351: fabricación de sustancias químicas industriales; 352: fabricación de otros productos químicos; 356: productos de plásticos NEP; 369: fabricación de otros productos minerales no metálicos; 371: industrias básicas de hierro y acero; 381: fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo; 382: construcción de maquinaria, excepto eléctrica; 384: material de transporte. Fuente: DANE, EAM, cálculos de los autores.

calzado, excepto de caucho y plástico (324) la VA/K cayó, en promedio, 4,63% como resultado de una reducción de la tasa de inversión (la tasa promedio de crecimiento anual de la inversión cayó 153,16%), que fue acompañada por una desacumulación del acervo de capital (la tasa promedio de crecimiento de la acumulación de capital fue de -1,69%).

IV. MÉTODO DE ESTIMACIÓN Y RESULTADOS

La metodología econométrica utilizada para la estimación de la ecuación (2) depende de las propiedades estocásticas de las series involucradas en el estudio. Siguiendo a Marrocu *et al.* (2000), el primer paso consiste en realizar pruebas de raíz unitaria tipo panel (en dos dimensiones); para lo cual se utilizó la prueba de raíz unitaria en paneles propuesta por Pesaran (2007, en prensa), denominada CIPS, en donde se complementa el trabajo de Im, Pesaran y Shin (2003) con un caso de paneles con posible correlación contemporánea. Además, se utilizan las pruebas de estacionariedad en paneles de Hadri (2000) y Hadri y Larsson (2005). La prueba CIPS corresponde a una generalización panel de la prueba de Dickey y Fuller (1979), mientras que la de Hadri generaliza la prueba KPSS de Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, y Shin (1992) —estas pruebas son explicadas en el Anexo 2⁹—.

En los cuadros 3 y 4 se presentan los resultados de las pruebas de CIPS y de Hadri para el panel de regiones y el de sectores, respectivamente. Los resultados indican que las series utilizadas son integradas de orden 1; por tanto, se realizaron las pruebas de cointegración tipo panel en dos dimensiones. En los cuadros 5 y 6 se presentan los resultados de la prueba de Larsson *et al.* (2001), que corresponde a una generalización para datos de panel de la prueba de Johansen (1991, 1996), para el panel de regiones y el de sectores, respectivamente¹⁰. Utilizando un nivel de significancia del

9 La prueba CIPS considera la posible existencia de correlación cruzada entre los individuos del panel; por el contrario, las pruebas de Hadri (2000), y Hadri y Larsson (2005) suponen que estas correlaciones son cero. A este respecto, Jönsson (2004) publicó en un documento de trabajo una versión de la prueba de Hadri en la cual se tiene en cuenta este tipo de correlaciones (véase Anexo 2); sin embargo, al aplicar la prueba de Jönsson a las series analizadas en el presente documento se obtienen resultados similares a los conseguidos con las pruebas anteriormente reseñadas.

10 Aunque la metodología de panel propuesta por Larsson *et al.* (2001) está relacionada con la técnica de Johansen, estos autores proponen una prueba de cointegración, pero no una técnica de estimación de parámetros.

1%, estos resultados indican que las series están cointegradas y que existe un solo vector de cointegración.

Tomando en consideración los resultados de las pruebas de raíz unitaria y de cointegración anteriores, la ecuación (2) puede ser estimada utilizando un modelo de datos de panel en tres dimensiones con efectos fijos tanto para regiones como para sectores¹¹; adicionalmente, para determinar si las elasticidades de los factores varían entre

¹¹ La técnica de estimación es equivalente a la primera etapa de la metodología de Engle y Granger (1987) con la corrección de Engle y Yoo (1991); adicionalmente, se utilizan efectos fijos debido a que se está considerando toda la población, pues no se está trabajando con una muestra aleatoria. De otra parte, en un contexto de cointegración en panel, las estimaciones de los parámetros de un modelo de efectos aleatorios y las distribuciones de los estadísticos estándar para seleccionar entre modelos

Cuadro 3
 Pruebas de raíz unitaria, panel de regiones

Serie	Prueba CIPS $H_0: X_{it} \sim I(1)$				Prueba de Hadri (L4) $H_0: X_{it} \sim I(0)$		
	Componentes determinísticos	Rezagos	Estadística	Valor crítico al 5%	Componentes determinísticos	Estadística	P-value
ln(L)	μ, t	6	-0,41	-2,86	μ, t	4,43	<0,001
ln(VA)	μ, t	4	-1,09	-2,86	μ, t	3,71	<0,001
ln(K)	μ, t	3	-1,97	-2,86	μ, t	8,41	<0,001

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro 4
 Pruebas de raíz unitaria, panel de sectores

Serie	Prueba CIPS $H_0: X_{it} \sim I(1)$				Prueba de Hadri (L4) $H_0: X_{it} \sim I(0)$		
	Componentes determinísticos	Rezagos	Estadística	Valor crítico al 5%	Componentes determinísticos	Estadística	P-value
ln(L)	μ, t	6	-1,17	-2,72	μ, t	5,82	<0,001
ln(VA)	μ, t	6	-1,13	-2,72	μ, t	6,51	<0,001
ln(K)	μ, t	6	-2,06	-2,72	μ, t	12,33	<0,001

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro 5
Prueba de cointegración, panel de regiones
(Larsson et al. 2001)

Estadística Z	P-value	Rango de cointegración
14,21	<0,001	0
2,29	0,011	1
-0,26	0,398	2

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro 6
Prueba de cointegración panel de sectores
(Larsson et al. 2001)

Estadística Z	P-value	Rango de cointegración
14,98	<0,001	0
2,1	0,018	1
0,02	0,492	2

Fuente: cálculos de los autores.

regiones y/o sectores se estima una función de producción donde las elasticidades de los factores varían por sector y región¹².

Inicialmente se estimó una función de producción Cobb-Douglas para el total nacional, cuyos resultados provienen de un panel de tres dimensiones, el cual está compuesto por nueve áreas metropolitanas, 18 sectores industriales y un período de 26 años, con un total de 4.212 observaciones¹³. El panel incluye efectos fijos, lo

de efectos fijos y aleatorios son muy complejos, de hecho, Larsson et al. (2001) sólo consideran la estimación de modelos de cointegración panel con efectos fijos.

12 En este modelo las elasticidades varían por región y sector de forma separada sin considerar su interacción, esto último no se puede modelar por la disminución de grados de libertad; es decir, en el modelo (2) se tiene α_{ij} en lugar de α y $\alpha_{ij} = \alpha_i + \alpha_j$.

13 Durante el período analizado (1975-2000) se observaron cambios estructurales en la economía (como el ocurrido en 1991), que podrían dar origen a quiebres estructurales en las series; no obstante, en la literatura especializada no se encuentran pruebas estadísticas que evalúen las hipótesis

que permite la heterogeneidad entre regiones y sectores; para este fin se incluyeron 162 constantes ($\ln(A_{ij})$, $i = 1, \dots, 9$, $j = 1, \dots, 18$); sin embargo, en una primera etapa se asume que los coeficientes de los factores de producción son homogéneos entre áreas metropolitanas y sectores¹⁴. Los resultados del Cuadro 7 indican que la elasticidad del trabajo (ϵ_L) es igual a 0,85 y la del capital (ϵ_K) a 0,15. Estas elasticidades difieren de las encontradas en la literatura para Colombia: por ejemplo, Sánchez *et al.* (1996), para el cálculo de la contribución al crecimiento de los factores de producción, utilizan una elasticidad del trabajo de 0,63 y del capital de 0,37 para el sector industrial colombiano durante el período 1950-1994; la Secretaría de Hacienda Distrital (2003b), en su estudio sobre cambio tecnológico, productividad y crecimiento de la industria en Bogotá, utiliza coeficientes para el capital y el empleo de 0,27 y 0,72, respectivamente; y Eslava *et al.* (2004; Tabla 3, columna 1, p. 44) en su trabajo sobre los efectos de las reformas estructurales sobre la productividad,

Cuadro 7
 Estimación de una función de producción para Colombia

Variable	Elasticidad
Acervo de capital (ϵ_K)	0,1473 (0,0085)
Trabajo (ϵ_L)	0,8526 (0,0085)
Observaciones	4212
Regiones	9
Sectores	18
Período	1975-2000

Nota: error estándar entre paréntesis.
 Fuente: cálculos de los autores.

asociadas con este problema para el tipo de modelo que se utiliza en este trabajo. Sin embargo, una alternativa es el análisis gráfico de los residuales, aunque ésta no sea la mejor opción desde un punto de vista econométrico, pero dadas las limitaciones existentes esto sería una solución parcial (i. e. por la que se optó). Los gráficos de los residuales están disponibles para los lectores interesados.

¹⁴ Las pruebas de homogeneidad individuales, en un contexto de cointegración panel de dos dimensiones, se aceptan para la mayoría de las áreas metropolitanas y sectores, pero sólo se rechazan para Pereira y los sectores 352 y 384.

utilizando información a nivel de planta durante el período 1982-1998, encuentran una elasticidad del capital de 0,32 y del trabajo 0,74. Estas diferencias podrían estar ocasionadas por la inclusión de la dimensión regional en nuestra estimación; además, la baja elasticidad del capital puede ser el resultado de la no inclusión de sectores que son intensivos en capital; por ejemplo, refinerías de petróleo (353), fabricación de productos del caucho (355) y maquinaria, aparatos y suministros eléctricos (383).

Para obtener los parámetros de productividad, tanto para las regiones como para los sectores, se calculan los antilogaritmos de los coeficientes de los efectos fijos ($\ln(A_{ij})$), que resultan de la estimación de la ecuación (2). Para facilitar la interpretación de los parámetros, en los gráficos 1 y 2 y en el Cuadro 8 se presentan los índices de productividad, donde el promedio nacional es igual a 100.

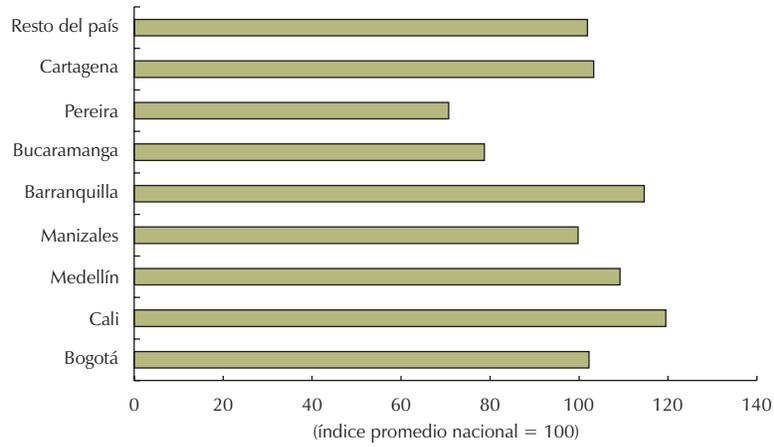
En el Gráfico 1 se presenta el promedio de los índices de productividad para las ocho áreas metropolitanas consideradas y el resto del país: como se observa, el mayor índice de productividad corresponde a Cali (119,5), seguido por Barranquilla (114,7) y Medellín (109,2) y los menores índices corresponden a Pereira (70,7), Bucaramanga (78,7) y Manizales (99,8); además, Bogotá, Cartagena y el resto del país se ubican por encima del promedio nacional. Vale la pena mencionar que Cali, Medellín y Barranquilla son importantes en términos de la localización de las grandes empresas; como se mencionó anteriormente, en Bogotá predominan las micro, pequeñas y medianas empresas, con poca innovación tecnológica.

Por otro lado, en el Gráfico 2 se muestra el promedio de los índices de productividad para los 18 sectores manufactureros analizados. Los sectores industriales más productivos son: industria de bebidas (251,5), fabricación de sustancias químicas industriales (191,3), alimentos diversos (133,3) y fabricación de papel y productos de papel (132,9); por el contrario, los sectores menos productivos de la muestra son fabricación de muebles y accesorios (36,9), fabricación de prendas de vestir excepto calzado (44,7), fabricación de calzado excepto de caucho o plástico (49,7), e industria de la madera y productos de madera y corcho, excepto muebles (54,8)¹⁵.

En particular, en el Cuadro 8 se observa que el sector más productivo en Bogotá, Medellín, Manizales, Bucaramanga, Pereira y el resto del país es la industria de

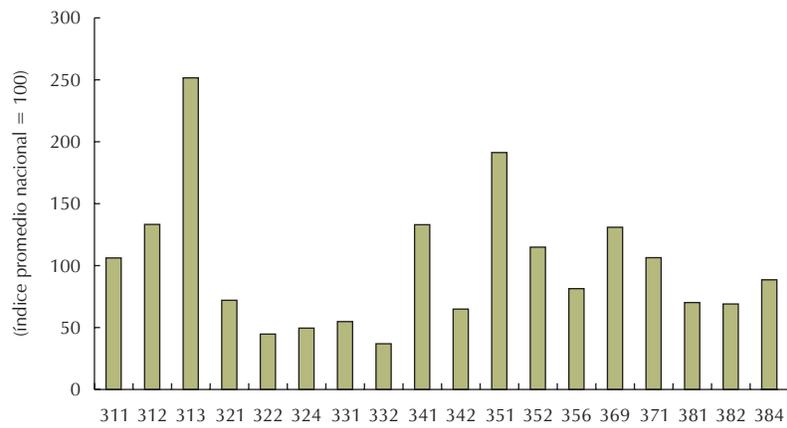
¹⁵ Es importante mencionar que los 18 sectores incluidos en este estudio corresponden al 62% del total de sectores industriales; por tanto, pueden existir sectores más, o menos, productivos que los incluidos en esta muestra.

Grafico 1
Índice de productividad para las áreas metropolitanas colombianas, 1975-2000



Fuente: Anexo 3.

Grafico 2
Índice de productividad para los sectores industriales colombianos, 1975-2000



Fuente: Anexo 3.

Cuadro 8
Índice de productividad para las regiones y sectores industriales
en Colombia, 1975-2000
(índice, promedio nacional = 100)

Sector ^{a/} /región	Bogotá	Cali	Medellín	Maniza- les	Barran- quilla	Bucara- manga	Pereira	Cartagena	Resto
311	95,82	121,13	92,73	127,56	97,86	83,23	133,86	81,96	121,90
312	134,27	154,64	126,09	187,46	99,71	142,06	73,29	114,80	167,20
313	265,89	236,06	330,36	303,92	284,68	251,08	194,20	179,61	217,97
321	66,15	61,11	109,77	59,72	74,71	41,57	125,87	37,99	72,10
322	46,62	48,51	59,03	51,56	40,42	42,52	42,88	31,70	39,16
324	48,72	39,96	53,25	110,78	46,46	33,16	38,19	28,03	48,30
331	58,54	62,51	38,68	54,93	125,25	40,84	22,67	36,75	53,48
332	47,18	34,66	35,27	23,46	38,08	44,48	25,24	29,90	53,53
341	104,54	239,55	155,54	75,45	180,36	43,18	171,79	51,26	174,68
342	87,28	110,39	78,30	50,43	46,93	47,39	45,33	53,88	64,90
351	163,19	197,57	170,56	145,21	341,00	163,22	41,33	333,24	166,76
352	143,45	217,26	147,74	65,02	120,74	48,76	46,12	116,51	128,31
356	90,60	66,75	81,95	88,17	71,76	74,00	48,74	140,27	71,06
369	96,19	168,15	72,46	136,40	178,85	121,06	57,52	208,70	138,71
371	104,65	155,32	160,38	59,62	91,71	47,41	46,65	138,02	154,79
381	74,48	95,41	67,67	63,94	75,35	56,45	38,07	96,63	63,13
382	73,82	59,63	75,49	113,17	72,87	52,95	33,35	88,38	52,58
384	138,86	82,49	110,30	79,12	77,20	83,97	87,17	91,49	45,88

a/ 311: fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas; 312: fabricación de alimentos diversos; 313: industria de bebidas; 321: fabricación de textiles; 322: fabricación de prendas de vestir, excepto calzado; 324: fabricación de calzado, excepto de caucho o plástico; 331: industria de la madera y productos de madera y corcho, excepto muebles; 332: fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos; 341: fabricación de papel o productos de papel; 342: imprentas, editoriales e industrias conexas; 351: fabricación de sustancias químicas industriales; 352: fabricación de otros productos químicos; 356: productos de plásticos NEP; 369: fabricación de otros productos minerales no metálicos; 371: industrias básicas de hierro y acero; 381: fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo; 382: construcción de maquinaria, excepto eléctrica; 384: material de transporte.

Fuente: cálculos de los autores.

bebidas; por su parte, el sector de fabricación de sustancias químicas industriales es el más productivo en Barranquilla y Cartagena, mientras que el de fabricación de papel o productos de papel lo es en Cali. En cuanto al sector menos productivo en Cali, Medellín, Manizales y Barranquilla corresponde al de fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos; en Bucaramanga y Cartagena éste es el de fabricación de calzado, excepto de caucho o plástico; en Pereira la industria de madera y productos de madera y corcho es la menos productiva,

mientras que el sector de fabricación de prendas de vestir, excepto calzado, lo es en Bogotá y en el resto del país.

Los mayores niveles relativos de productividad de Cali, Barranquilla y Medellín pueden ser explicados por el comportamiento del sector de otros productos químicos (352)¹⁶, el cual ha sido uno de los sectores industriales con mayor dinamismo (Cuadro 9) y mayor productividad. De otra parte, los menores niveles de productividad registrados en Bucaramanga y Pereira pueden deberse a la alta participación del sector fabricación de prendas de vestir, excepto calzado (322), en el total de la industria (Cuadro 9), el cual tiene uno de los índices más bajos de productividad dentro de la muestra.

Con el fin de tener en cuenta la estructura industrial de cada área metropolitana se ponderan los índices de productividad (regionales y sectoriales) presentados anteriormente, utilizando la participación del valor agregado de cada sector en el total nacional. En particular, el índice de productividad ponderado para cada área metropolitana se calculó de la siguiente manera:

$$I_i = \sum_{j=1}^{18} \lambda_{ij} A_{ij} , \quad (3)$$

donde I_i corresponde al índice ponderado de productividad de la región i ; λ_{ij} es la participación promedio del valor agregado del sector j en el total de la producción industrial de la región i durante el período de análisis, y A_{ij} es la productividad del sector j en la región i .

Por su parte, el índice de productividad ponderado para cada sector industrial se calculó como:

$$I_j = \sum_{i=1}^9 \phi_{ij} A_{ij} , \quad (4)$$

donde I_j corresponde al índice ponderado de productividad del sector j , y ϕ_{ij} es la participación promedio del valor agregado del sector j en la región i en el total de la producción industrial durante el período de análisis.

¹⁶ Otros productos químicos incluye la fabricación de pinturas, barnices y lacas, productos farmacéuticos y medicamentos, artículos de limpieza y tocador y productos químicos no especificados.

Cuadro 9
Participación del valor agregado de cada sector

En el total de la industria manufacturera de cada región (porcentaje) ^{a/}

	/año	Bogotá	Cali	Medellín	Mani- zales	Barran- quilla	Bucara- manga	Pereira	Carta- gena	Resto del país	Total nacional
Sector 311	1975	8,7	8,9	6,9	17,4	10,4	18,0	27,6	10,5	36,7	15,2
	1980	11,0	8,9	6,1	9,2	12,4	14,9	26,1	5,3	33,5	14,5
	1990	11,1	10,1	7,5	11,1	12,9	14,9	19,6	8,3	29,8	14,8
	2000	10,7	13,0	11,3	17,6	13,5	30,3	24,2	14,0	36,5	19,8
Sector 312	1975	1,4	3,3	2,2	4,0	3,3	2,9	0,5	2,4	5,7	3,0
	1980	2,8	3,5	1,8	3,1	2,1	5,0	0,4	1,4	4,5	2,9
	1990	2,8	4,3	2,0	2,7	3,8	5,5	0,4	0,7	6,6	3,7
	2000	3,1	2,9	2,9	6,1	1,7	8,9	0,7	1,7	5,2	3,6
Sector 313	1975	11,7	9,8	12,3	28,7	20,8	33,4	15,3	8,2	18,3	14,5
	1980	18,1	11,1	14,1	28,7	20,0	41,3	17,0	7,6	22,2	17,6
	1990	12,7	8,4	9,2	23,9	13,4	36,9	21,1	5,8	18,1	13,4
	2000	11,9	5,7	9,2	18,4	18,9	26,9	9,8	8,9	9,8	10,7
Sector 321	1975	8,4	5,2	40,5	12,3	7,8	5,8	22,3	0,1	7,8	14,2
	1980	7,7	5,6	37,5	10,1	5,1	3,5	20,5	0,1	6,9	14,0
	1990	8,9	2,3	34,6	7,0	2,6	0,2	15,5	0,1	4,5	11,6
	2000	11,5	0,9	16,3	2,7	4,3	2,3	8,2	0,0	2,4	7,0
Sector 322	1975	3,2	2,7	5,0	1,6	5,1	8,1	17,1	0,7	0,3	3,4
	1980	4,7	4,2	6,0	2,5	5,5	7,1	12,8	0,2	0,4	4,2
	1990	3,1	3,9	6,1	2,4	4,1	9,5	11,8	0,1	0,7	3,5
	2000	3,5	3,9	16,3	1,4	3,1	8,2	12,2	0,0	1,6	5,3
Sector 324	1975	0,6	0,4	1,4	3,6	0,4	1,9	0,9	0,5	0,2	0,7
	1980	0,9	0,9	1,0	7,7	0,3	2,3	0,7	0,2	0,4	0,9
	1990	2,0	0,9	1,3	14,8	1,3	4,0	0,4	0,1	0,7	1,6
	2000	0,5	1,0	0,7	5,8	0,5	1,5	0,6	0,0	0,3	0,6
Sector 331	1975	1,9	0,6	0,3	0,3	4,3	1,2	0,2	0,6	1,1	1,3
	1980	0,4	0,5	0,3	0,3	6,2	1,0	0,3	0,3	0,4	0,9
	1990	0,6	0,3	0,2	0,5	5,3	0,4	0,2	0,4	0,3	0,8
	2000	0,5	0,6	0,1	2,5	4,4	0,2	0,1	0,1	0,6	0,7
Sector 332	1975	1,2	0,1	0,3	0,0	0,4	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6
	1980	1,1	0,1	0,5	0,1	0,4	1,0	1,1	0,5	0,4	0,6
	1990	1,2	0,2	0,3	0,1	0,2	1,3	0,8	0,2	0,3	0,5
	2000	0,8	0,1	0,3	0,1	0,4	1,3	0,2	0,2	0,3	0,4

Cuadro 9 (continuación)
 Participación del valor agregado de cada sector

En el total de la industria manufacturera de cada región (porcentaje) ^{a/}

	/año	Bogotá	Cali	Medellín	Mani- zales	Barran- quilla	Bucara- manga	Pereira	Carta- gena	Resto del país	Total nacional
Sector 341	1975	1,4	16,2	3,3	0,3	3,4	0,0	10,6	0,1	0,9	4,0
	1980	1,7	17,5	3,0	0,4	4,5	0,0	13,0	0,1	0,9	4,2
	1990	2,1	16,8	4,2	0,3	2,7	0,1	23,4	0,0	2,2	4,7
	2000	2,1	13,9	5,8	0,2	4,1	0,2	33,9	0,0	4,7	5,7
Sector 342	1975	5,5	5,9	1,9	1,3	1,0	2,8	0,3	3,4	0,5	3,1
	1980	6,1	7,2	1,4	1,5	1,4	3,3	0,2	0,4	0,6	3,1
	1990	6,1	6,8	1,4	1,8	0,3	2,8	0,5	0,8	0,7	3,1
	2000	10,7	5,7	2,3	2,4	0,4	3,7	2,0	1,0	1,6	4,5
Sector 351	1975	3,1	9,3	1,8	9,5	15,6	0,8	0,4	61,1	4,5	7,2
	1980	1,8	4,7	3,8	3,2	20,1	0,5	0,2	66,0	5,2	6,9
	1990	2,8	4,1	9,9	3,8	27,7	0,7	0,0	62,7	6,9	9,2
	2000	2,2	0,7	7,8	2,5	21,9	0,3	0,0	50,6	4,1	6,4
Sector 352	1975	14,5	18,8	6,8	3,1	3,7	0,8	0,4	2,4	1,0	8,5
	1980	12,3	18,3	4,7	4,1	3,6	0,4	0,5	1,7	1,5	7,3
	1990	13,3	21,8	6,3	3,5	4,5	1,1	0,4	2,7	1,2	8,4
	2000	17,6	35,7	8,2	4,3	5,5	0,6	0,7	0,9	6,4	12,6
Sector 356	1975	2,7	1,0	2,3	0,9	1,7	0,2	0,3	0,8	0,3	1,6
	1980	5,8	1,6	2,8	0,4	2,4	0,3	0,6	2,3	0,3	2,7
	1990	6,0	2,4	3,1	0,7	2,8	4,0	0,9	5,3	1,2	3,4
	2000	9,3	3,6	4,6	2,1	3,6	2,2	1,4	8,6	1,6	4,7
Sector 369	1975	2,7	3,6	2,0	5,4	13,5	5,4	0,0	2,4	8,7	5,0
	1980	3,4	4,5	2,4	7,7	5,1	6,5	0,1	7,4	8,6	4,7
	1990	3,3	5,0	1,9	8,5	4,1	6,0	0,5	6,6	11,5	5,4
	2000	2,6	4,9	2,1	8,2	11,2	4,6	0,9	7,8	12,5	6,6
Sector 371	1975	1,6	3,2	2,2	0,0	0,2	5,9	0,4	0,7	10,3	3,6
	1980	2,0	2,5	3,4	0,1	0,2	2,7	0,1	0,2	10,4	3,8
	1990	0,6	2,8	3,1	0,4	0,6	0,1	0,0	1,2	13,2	4,3
	2000	0,9	0,8	1,8	3,8	0,2	1,3	1,2	3,7	9,9	3,8
Sector 381	1975	9,2	6,9	5,0	8,3	3,8	3,9	1,3	1,3	1,7	5,4
	1980	7,8	4,4	4,7	7,9	6,6	3,9	1,7	1,2	2,2	5,0
	1990	6,1	6,5	4,3	7,3	4,1	2,8	1,1	1,0	1,2	4,2
	2000	4,0	5,0	4,2	8,5	1,5	1,3	0,6	0,8	1,9	3,2

Cuadro 9 (continuación)
Participación del valor agregado de cada sector

En el total de la industria manufacturera de cada región (porcentaje) ^{a/}											
	/año	Bogotá	Cali	Medellín	Mani- zales	Barran- quilla	Bucara- manga	Pereira	Carta- gena	Resto del país	Total nacional
Sector 382	1975	5,0	1,4	3,2	3,3	1,7	4,5	1,1	1,6	0,3	2,6
	1980	4,2	1,8	1,7	8,8	0,9	3,6	0,8	1,8	0,3	2,2
	1990	3,1	1,9	2,2	9,9	1,8	2,8	0,3	1,8	0,4	2,1
	2000	2,5	0,9	2,2	10,2	2,5	4,1	0,5	0,7	0,4	1,7
Sector 384	1975	17,1	2,6	2,5	0,1	2,8	3,6	0,7	2,6	1,2	6,1
	1980	8,1	2,7	5,1	4,1	3,3	2,7	4,1	3,3	1,2	4,5
	1990	14,2	1,5	2,3	1,5	7,8	7,0	3,0	2,0	0,5	5,5
	2000	5,5	0,6	4,0	3,2	2,3	1,9	2,7	0,7	0,3	2,6
En el total de la industria manufacturera nacional (porcentaje) ^{a/}											
	/año	Bogotá	Cali	Medellín	Mani- zales	Barran- quilla	Bucara- manga	Pereira	Carta- gena	Resto del país	
Sector 311	1975	15,3	8,0	9,1	2,4	6,2	2,5	4,0	2,4	50,0	
	1980	19,5	7,7	9,9	1,2	7,8	2,0	4,1	1,2	46,6	
	1990	20,2	8,4	10,5	1,5	6,9	1,9	2,8	1,9	45,9	
	2000	13,8	8,1	9,7	1,8	4,2	2,5	2,9	2,6	54,5	
Sector 312	1975	12,9	15,1	14,6	2,8	10,2	2,1	0,4	2,8	39,2	
	1980	25,1	15,1	14,4	2,0	6,7	3,3	0,3	1,6	31,4	
	1990	20,7	14,1	11,0	1,5	8,2	2,8	0,2	0,6	40,8	
	2000	21,7	9,9	13,5	3,4	2,9	4,1	0,5	1,7	42,5	
Sector 313	1975	21,6	9,2	16,9	4,1	13,1	4,8	2,3	2,0	26,0	
	1980	26,4	8,0	18,7	3,1	10,3	4,6	2,2	1,4	25,4	
	1990	25,7	7,7	14,3	3,6	8,0	5,2	3,3	1,4	30,8	
	2000	28,3	6,7	14,5	3,4	10,8	4,2	2,2	3,1	27,0	
Sector 321	1975	15,7	5,0	56,8	1,8	5,0	0,9	3,4	0,0	11,4	
	1980	14,0	5,0	62,6	1,4	3,3	0,5	3,3	0,0	9,9	
	1990	20,8	2,5	61,9	1,2	1,8	0,0	2,8	0,0	9,0	
	2000	41,3	1,5	39,3	0,8	3,7	0,5	2,8	0,0	10,1	
Sector 322	1975	25,6	11,0	29,7	1,0	13,7	5,0	11,2	0,7	2,1	
	1980	28,8	12,6	33,3	1,1	11,8	3,3	6,9	0,2	2,0	
	1990	23,3	13,6	35,7	1,3	9,2	5,1	6,9	0,1	4,7	
	2000	16,9	9,2	52,4	0,5	3,6	2,6	5,5	0,0	9,2	

Cuadro 9 (continuación)
 Participación del valor agregado de cada sector

		En el total de la industria manufacturera nacional (%) ^{a/}								
	/año	Bogotá	Cali	Medellín	Mani- zales	Barran- quilla	Bucara- manga	Pereira	Carta- gena	Resto del país
Sector 324	1975	22,6	7,0	37,9	10,3	4,7	5,5	2,8	2,3	6,8
	1980	26,0	11,9	26,3	15,9	2,7	5,0	1,7	0,7	9,9
	1990	34,7	7,3	17,5	18,9	6,5	4,8	0,6	0,2	9,6
	2000	18,6	19,9	17,7	18,5	4,9	4,0	2,3	0,2	13,9
Sector 331	1975	38,6	6,5	5,0	0,4	29,4	1,8	0,4	1,5	16,3
	1980	10,4	7,2	7,4	0,6	62,4	2,1	0,7	1,2	8,0
	1990	21,1	4,7	5,1	1,3	54,8	1,1	0,5	1,8	9,7
	2000	16,4	9,8	2,9	7,0	37,5	0,5	0,3	0,7	24,9
Sector 332	1975	54,2	1,9	10,9	0,1	5,3	2,6	2,0	3,9	19,0
	1980	49,5	1,1	18,2	0,2	6,4	3,5	4,0	2,9	14,1
	1990	59,2	4,8	9,6	0,5	3,0	4,4	3,2	1,2	14,1
	2000	49,3	2,6	11,8	0,3	5,8	5,0	0,9	1,5	22,8
Sector 341	1975	9,8	55,3	16,4	0,2	7,9	0,0	5,9	0,1	4,5
	1980	10,1	52,3	16,5	0,2	9,6	0,0	7,0	0,1	4,3
	1990	12,2	43,9	18,3	0,1	4,6	0,0	10,3	0,0	10,5
	2000	9,3	30,4	17,1	0,1	4,4	0,1	14,2	0,0	24,3
Sector 342	1975	48,0	26,4	12,2	0,9	3,0	1,9	0,2	3,9	3,7
	1980	49,7	28,8	10,4	0,9	4,0	2,0	0,1	0,4	3,7
	1990	53,4	27,1	9,7	1,1	0,7	1,7	0,3	0,9	5,1
	2000	60,5	15,7	8,6	1,1	0,6	1,4	1,1	0,8	10,3
Sector 351	1975	11,5	17,7	5,0	2,8	19,8	0,2	0,1	30,0	13,0
	1980	6,6	8,5	12,7	0,9	26,0	0,1	0,1	30,0	15,0
	1990	8,3	5,4	22,1	0,8	23,8	0,1	0,0	22,4	17,0
	2000	8,8	1,4	20,5	0,8	20,8	0,1	0,0	29,1	18,7
Sector 352	1975	45,7	30,0	16,0	0,8	3,9	0,2	0,1	1,0	2,3
	1980	43,1	31,5	14,9	1,1	4,4	0,1	0,2	0,7	4,0
	1990	42,8	31,8	15,6	0,8	4,3	0,3	0,1	1,1	3,2
	2000	35,2	35,1	11,0	0,7	2,7	0,1	0,1	0,3	14,9
Sector 356	1975	44,9	8,9	29,0	1,2	9,9	0,2	0,4	1,7	3,8
	1980	54,7	7,6	23,9	0,3	7,9	0,2	0,5	2,7	2,3
	1990	48,6	8,6	19,3	0,4	6,6	2,2	0,6	5,2	8,4
	2000	50,1	9,6	16,4	0,9	4,7	0,8	0,7	6,7	10,1

Cuadro 9 (continuación)
Participación del valor agregado de cada sector

En el total de la industria manufacturera nacional (%) ^{a/}										
/año	Bogotá	Cali	Medellín	Mani- zales	Barran- quilla	Bucara- manga	Pereira	Carta- gena	Resto del país	
Sector 369	1975	14,6	10,0	8,1	2,3	24,9	2,3	0,0	1,7	36,1
	1980	18,7	12,2	11,9	3,1	9,8	2,7	0,0	5,0	36,7
	1990	16,8	11,4	7,4	3,2	6,1	2,1	0,2	4,1	48,9
	2000	10,1	9,3	5,4	2,5	10,4	1,2	0,3	4,4	56,3
Sector 371	1975	12,1	12,0	12,1	0,0	0,6	3,4	0,3	0,7	58,9
	1980	13,5	8,2	20,8	0,0	0,5	1,4	0,0	0,2	55,4
	1990	3,6	8,1	14,9	0,2	1,2	0,1	0,0	1,0	71,1
	2000	6,2	2,4	8,1	1,9	0,3	0,6	0,7	3,6	76,1
Sector 381	1975	45,3	17,3	18,3	3,2	6,5	1,5	0,5	0,9	6,5
	1980	40,1	11,2	21,8	3,0	11,9	1,5	0,8	0,7	9,0
	1990	39,5	18,9	21,4	3,4	7,8	1,3	0,5	0,8	6,4
	2000	31,4	19,1	22,0	5,2	2,8	0,7	0,4	0,9	17,5
Sector 382	1975	50,8	7,1	24,5	2,6	5,8	3,5	0,9	2,2	2,4
	1980	50,3	10,2	18,1	7,7	3,8	3,2	0,9	2,7	3,2
	1990	40,1	11,3	22,2	9,4	6,9	2,6	0,3	2,8	4,4
	2000	37,8	6,8	21,4	11,8	8,9	4,0	0,8	1,6	7,0
Sector 384	1975	74,7	5,8	8,2	0,0	4,2	1,2	0,3	1,5	4,1
	1980	46,4	7,7	26,5	1,7	6,6	1,2	2,0	2,3	5,6
	1990	69,5	3,3	8,6	0,5	11,2	2,4	1,1	1,2	2,1
	2000	54,6	3,1	26,5	2,5	5,6	1,2	2,5	1,0	2,9

a/ 311: fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas; 312: fabricación de alimentos diversos; 313: industria de bebidas; 321: fabricación de textiles; 322: fabricación de prendas de vestir, excepto calzado; 324: fabricación de calzado, excepto de caucho o plástico; 331: industria de la madera y productos de madera y corcho, excepto muebles; 332: fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos; 341: fabricación de papel o productos de papel; 342: imprentas, editoriales e industrias conexas; 351: fabricación de sustancias químicas industriales; 352: fabricación de otros productos químicos; 356: productos de plásticos NEP; 369: fabricación de otros productos minerales no metálicos; 371: industrias básicas de hierro y acero; 381: fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo; 382: construcción de maquinaria, excepto eléctrica; 384: material de transporte.
Fuente: DANE, EAM, cálculos de los autores.

En los cuadros 10 y 11 se presentan los índices ponderados que resultaron del análisis. Es interesante resaltar que si sectores de alta productividad tienen una mayor participación dentro de una región esto contribuirá a aumentar la productividad de dicha región: por ejemplo, Cartagena pasa del cuarto al primer lugar, debido a la gran participación del sector fabricación de sustancias químicas industriales (351) que es el segundo más productivo. Es de señalar que este sector representa, en

promedio, el 56% del total de la industria de esta área metropolitana, y si este sector se excluyera de la muestra Cartagena descendería al quinto lugar.

Por otro lado, si un sector de baja productividad tiene una mayor participación dentro de la industria de una región, éste contribuirá a reducir la productividad de dicha región: tal es el caso de Medellín, que pasa del tercero al séptimo lugar. Dentro de los sectores incluidos en esta muestra el sector fabricación de textiles (321) participa, en promedio, con el 30% de la producción industrial del área metropolitana de esta ciudad y tiene una productividad relativamente baja.

En el caso de Bogotá, que pasa del quinto al noveno lugar, de los sectores incluidos ninguno predomina en la estructura industrial de la región, como sí ocurre en otras áreas metropolitanas. Vale la pena resaltar que el sector que más participa en la industria de la ciudad capital es el de fabricación de otros productos químicos (352) con el 16%.

De forma complementaria y con el fin de permitir un mayor grado de heterogeneidad, se estimó un modelo en donde se permitió que los coeficientes de los factores (elasticidades) cambiaran tanto para las regiones como para los sectores, es decir:

$$\ln Y_{ijt} = \ln A_{ij} + \alpha_{ij} \ln K_{ijt} + (1 - \alpha_{ij}) \ln L_{ijt}; \alpha_{ij} = \alpha_i^* + \alpha_j^{**} \quad (5)$$

Cuadro 10
 Índices de productividad por área metropolitana
 (promedio nacional = 100)

Área metropolitana	Sin ponderar	Ponderado	Ponderado sin 351
Bogotá	102,23	79,51	88,99
Cali	119,50	107,50	120,34
Medellín	109,20	84,09	92,66
Manizales	99,77	93,86	105,87
Barranquilla	114,67	119,91	105,12
Bucaramanga	78,74	84,61	95,14
Pereira	70,69	82,79	93,39
Cartagena	103,28	156,66	96,76
Resto del país	101,91	91,07	101,74

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro 11
Índices de productividad por sector industrial
 (promedio nacional = 100)

Sector ^{a/}	Sin ponderar	Ponderado
311	106,23	92,18
312	133,28	121,56
313	251,53	213,24
321	72,11	76,89
322	44,71	41,50
324	49,65	47,27
331	54,85	71,27
332	36,86	36,70
341	132,93	158,28
342	65,00	73,00
351	191,33	204,64
352	114,88	136,03
356	81,48	71,28
369	130,89	110,75
371	106,51	123,36
381	70,13	61,78
382	69,14	61,20
384	88,50	99,08

a/ 311: fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas; 312: fabricación de alimentos diversos; 313: industria de bebidas; 321: fabricación de textiles; 322: fabricación de prendas de vestir, excepto calzado; 324: fabricación de calzado, excepto de caucho o plástico; 331: industria de la madera y productos de madera y corcho, excepto muebles; 332: fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos; 341: fabricación de papel o productos de papel; 342: imprentas, editoriales e industrias conexas; 351: fabricación de sustancias químicas industriales; 352: fabricación de otros productos químicos; 356: productos de plásticos NEP; 369: fabricación de otros productos minerales no metálicos; 371: industrias básicas de hierro y acero; 381: fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo; 382: construcción de maquinaria, excepto eléctrica; 384: material de transporte.
 Fuente: cálculos de los autores.

En el Cuadro 12 se presentan las elasticidades de los factores para las ocho áreas metropolitanas y el resto del país: como se puede observar, las elasticidades tanto del capital como del trabajo difieren considerablemente entre regiones, y aunque la elasticidad del trabajo parece ser un poco alta, en general, los valores estimados van en la misma dirección de los estimados con el panel de tres dimensiones¹⁷.

Debido a que existen muy pocos estudios sobre productividad industrial a nivel regional, solamente se pueden comparar las elasticidades obtenidas en este trabajo con las encontradas por la Secretaría de Hacienda Distrital (2003b) para el caso de Bogotá. Estos autores encuentran para el período 1980-2000 unas elasticidades de capital y trabajo de 0,27 y 0,72, respectivamente, bastante similares a las encontradas en este estudio: 0,26 y 0,73, respectivamente, entre 1975 y 2000.

De otra parte, en el Gráfico 3 se presentan las elasticidades de los factores por sector industrial; en este caso, las elasticidades presentan un alto grado de heterogeneidad.

¹⁷ En el caso de Pereira, contrario a lo esperado, se obtiene una elasticidad del capital negativa, para lo cual no se encontró explicación económica. Al obtener este resultado se realizó una estimación en donde se forzó la elasticidad del capital de Pereira a ser igual a cero, ya que la metodología utilizada no permite incluir la restricción de no negatividad de las elasticidades: los resultados obtenidos son bastante similares.

Cuadro 12
 Funciones de producción para las áreas metropolitanas colombianas 1975-2000

Área metropolitana	ϵ_K	ϵ_L
Bogotá	0,2630	0,7370
Cali	0,2748	0,7252
Medellín	0,2843	0,7157
Manizales	0,3363	0,6637
Barranquilla	0,3545	0,6455
Bucaramanga	0,1512	0,8488
Pereira	-0,0076	1,0076
Cartagena	0,1892	0,8108
Resto del país	0,4798	0,5202

Fuente: cálculos de los autores.

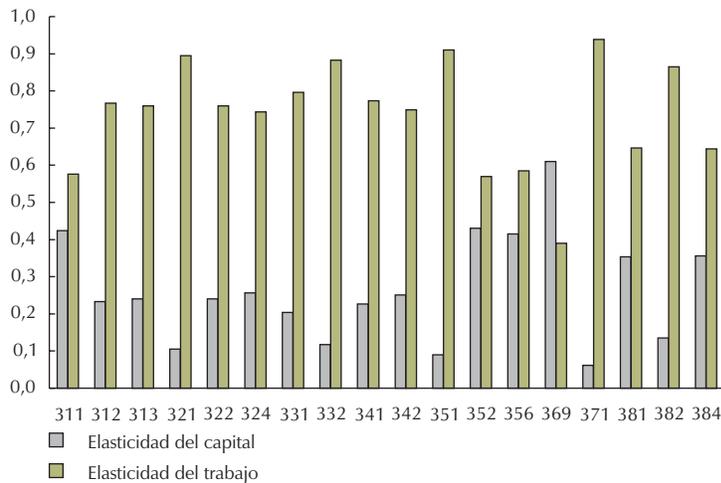
El rango de la elasticidad del trabajo varía entre 0,9383 en el sector industrias básicas de hierro y acero (371) y 0,3903 en el sector fabricación de otros productos minerales no metálicos, excepto los derivados del petróleo y del carbón (369). Es importante mencionar que en el único sector en donde la elasticidad del trabajo es menor a la del capital es en el 369, lo que indicaría que la productividad marginal del capital es más alta que la del trabajo.

La heterogeneidad de las elasticidades factoriales estimadas, tanto regionales como sectoriales, resalta la importancia de un análisis de crecimiento regional más riguroso, en el cual se tengan en cuenta estas diferencias; incluso, el uso de elasticidades únicas nacionales podría sesgar los resultados.

V. COMENTARIOS FINALES

Con el fin de incorporar las diferencias regionales en el análisis de la productividad, en este trabajo se estimó la PTF y las elasticidades de los factores para la industria manufacturera colombiana por área metropolitana y sector económico durante el período 1975-2000. Para lograr este objetivo se utilizó la metodología de datos de

Gráfico 3
Elasticidades de los factores por sector industrial, 1975-2000



Fuente: cálculos de los autores.

panel y los desarrollos recientes de pruebas de raíz unitaria de CIPS y Hadri y las pruebas de cointegración de Larsson.

Para el total nacional, que incluye 18 sectores industriales, se obtuvo una elasticidad del trabajo (ϵ_L) de 0,85 y una del capital (ϵ_K) de 0,15. En cuanto a los parámetros de productividad, los sectores industriales más productivos dentro de la muestra utilizada son el de industria de bebidas, fabricación de sustancias químicas industriales y fabricación de papel y productos de papel; por su parte, los sectores menos productivos son el de fabricación de muebles y accesorios, fabricación de prendas de vestir, excepto calzado, y la fabricación de calzado, excepto de caucho y plástico.

En cuanto a las áreas metropolitanas se encontró que los mayores índices de productividad corresponden a Cali, Barranquilla y Medellín, mientras que Pereira y Bucaramanga tienen los menores índices. Con el fin de tener en cuenta la estructura industrial de cada área metropolitana se ponderaron los índices de productividad (regionales y sectoriales) utilizando la participación del valor agregado de cada sector en el total regional o nacional. En este caso, Cartagena es el área metropolitana más productiva, debido a la gran participación del sector fabricación de sustancias químicas industriales (351), que es el segundo más productivo; además, Barranquilla y Cali continúan dentro del grupo de regiones más productivas.

Al estimar las elasticidades factoriales tanto a nivel regional como sectorial se encontró una gran heterogeneidad entre ellas.

Para investigaciones futuras, si la metodología econométrica lo permite, sería muy útil poder estimar elasticidades para cada región y sector, utilizando las tres dimensiones del panel; adicionalmente, para poder explicar mejor las diferencias entre las zonas del país sería importante estudiar los determinantes de la PTF a nivel regional y su evolución a lo largo del tiempo.

REFERENCIAS

1. Arbeláez, M.; Echavarría, J.; Gaviria, A. "Colombian Long Run Growth and the Crisis of the 1990s" (manuscrito), Fedesarrollo, Bogotá, 2001.
2. Bonilla, R. "Productividad en el sector de bienes de capital", Chica, R. (coord.), *El crecimiento de la productividad en Colombia: resultados del estudio sobre determinantes del crecimiento de la productividad*, DNP-Colciencias-Fonade, Bogotá, pp. 423-446, 1996.
3. Cárdenas, A. R. "Evolución y futuro del desarrollo de la petroquímica y de los plásticos", Chica, R. (coord.), *El crecimiento de la productividad en Colombia: resultados del estudio sobre determinantes del crecimiento de la productividad*, DNP-Colciencias-Fonade, Bogotá, pp. 401-422, 1996.
4. Cárdenas, M.; Escobar, A.; Gutiérrez, C. "La contribución de la infraestructura a la actividad económica en Colombia: 1950-1994", *Ensayos sobre Política Económica*, núm. 28, Bogotá, pp. 139-188, diciembre, 1995.
5. Chica, R. "Crecimiento de la productividad y cambio técnico en la industria manufacturera colombiana: 1974-1994", Chica, R. (coord.), *El crecimiento de la productividad en Colombia: resultados del estudio sobre determinantes del crecimiento de la productividad*, DNP-Colciencias-Fonade, Bogotá, pp. 223-316, 1996.
6. Clavijo, S. "Productividad laboral, multifactorial y la tasa de cambio real en Colombia", *Ensayos sobre Política Económica*, núm. 17, Bogotá, pp. 73-97, junio, 1990.
7. Clavijo, S. "Interrelaciones entre el crecimiento, la productividad y el sector externo: algunas estimaciones y simulaciones para Colombia, 1950-1989", *Desarrollo y Sociedad*, núm. 28, septiembre, 1991.
8. Clavijo, S. "Crecimiento, productividad y la nueva economía", Borradores de Economía, núm. 228, Banco de la República, Bogotá, 2003.
9. Corchuelo, A. "Determinantes de la productividad y competitividad de la cadena productiva de papel e imprentas", Chica, R. (coord.), *El crecimiento de la productividad en Colombia: resultados del estudio sobre determinantes del crecimiento de la productividad*, DNP-Colciencias-Fonade, Bogotá, pp. 373-400, 1996.
10. De la Fuente, A. "On the Sources of Convergence: A Close Look at the Spanish Regions", *European Economic Review*, vol. 46, pp. 569-599, 2002.
11. Dickey, D. A.; Fuller, W. A. "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root", *Journal of the American Statistical Association*, núm. 84, pp. 427-431, 1979.
12. Doornik, J.; Hansen, H. "An Omnibus Test for Univariate and Multivariate Normality", working paper, Nuffield College, Oxford, 1994.
13. Engle R. F.; Granger, C. W. J. "Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing", *Econometrica*, núm. 55, pp. 251-276, 1987.
14. Engle R. F.; Yoo, B. S., "Cointegrated Economic Time Series: An Overview with New Results", R. F. Engle y C. W. J. Granger (eds.), *Long-Run Economic Relationships: Readings in Cointegration*, Oxford, Oxford University Press, pp. 237-266, 1991.
15. Eslava, M.; Haltiwanger, J.; Kugler, A.; Kugler, M. "The Effect of Structural Reforms on Productivity and Profitability Enhancing Reallocation: Evidence from Colombia", *Journal of Development Economics*, vol. 75, núm. 2, diciembre, pp. 333-371, 2004.
16. Estrada, A.; López-Salido, D. "Accounting for Spanish Productivity Growth Using Sectoral Data: New Evidence", documento de trabajo núm. 0110, Banco de España, capturado en: <<http://www.uned.es/dpto-analisis-economico2/fichprof/david/pdf/accounting.pdf>> febrero, 2001.
17. Fernandes, A. "Trade Policy, Trade Volumes and Plant-Level Productivity in Colombian Manufacturing Industries" (mimeo), Universidad de Yale, 2003.

18. Garay, L. J. *Colombia: estructura industrial e internacionalización, 1967-1996*, Bogotá, Departamento Nacional de Planeación-Colciencias-Consejería Económica y de Competitividad-Ministerio de Comercio Exterior-Ministerio de Hacienda y Crédito Público-Proexport, 1998.
19. González, J. "Productividad: metodologías de estimación y determinantes en Colombia", *Revista virtual Webpondo.org*, [en línea], consultado en <http://www.webpondo.org/files_jul_sep_2004/resenaproductividadjuanita.pdf>, julio-septiembre, 2004.
20. Gust, C.; Márquez, J. "International Comparisons of Productivity Growth: Recent Developments", *Business Economics*, núm. 3, julio, 2001.
21. Hadri, K. "Testing for Stationarity in Heterogeneous Panel Data", *The Econometrics Journal*, vol. 3, pp. 148-161, 2000.
22. Hadri, K.; Larsson, R. "Testing for Stationarity in Heterogeneous Panel Data Where the Time Dimension is Finite", *The Econometrics Journal*, vol. 8, núm. 1, pp. 55-69, 2005.
23. Harberger, A. "La tasa de rendimiento del capital en Colombia", *Revista de Planeación y Desarrollo*, vol. 1, pp. 13-42, 1969.
24. Harrigan, J. "Estimation of Cross-Country Differences in Industry Production Functions", *Journal of International Economics*, vol. 47, pp. 267-293, 1999.
25. Im, K. S.; Pesaran, M. H.; Shin, Y. "Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels", *Journal of Econometrics*, vol. 115, núm. 1, julio, pp. 53-74, 2003.
26. Johansen, S. "Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models", *Econometrica*, vol. 59, pp. 1551-1580, 1991.
27. Johansen, S. *Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models* (2 ed.), Oxford, 1996.
28. Johansen, S.; Nielsen, B. *Manual for the Simulation Program DisCo*, Institute of Mathematical Statistics, University of Copenhagen, 1993.
29. Jönsson, K. "Testing for Stationarity in Panel Data Models when Disturbances are Cross-Sectionally Correlated", documento de trabajo, núm. 2004:17, Lund University, Department of Economics, 2004.
30. Kwiatkowski, D.; Phillips, P. C. B.; Schmidt, P.; Shin, Y. "Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of a Unit Root", *Journal of Econometrics*, vol. 54, pp. 91-115, 1992.
31. Larsson, R.; Lyhagen, J.; Löthgren, M. "Likelihood-based Cointegration Tests in Heterogeneous Panels", *Econometrics Journal*, vol. 4, pp. 109-142, 2001.
32. MacKinnon, J. G. "Critical Values for Cointegration Tests", R. F. Engle y C. W. J. Granger (eds.), *Long-run Economic Relationships: Readings in Cointegration*, Oxford, Oxford University Press, pp. 267-276, 1991.
33. Maddala, G. S.; Wu, S. "A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 61, núm. Supplement 1, pp. 631-652, noviembre, 1999.
34. Marrocu, E.; Paci, R.; Pala, R. "Estimation of Total Factor Productivity for Regions and Sectors in Italy. A panel Cointegration Approach", documento de trabajo, núm. 00/16, Centro Ricerche Economiche Nord Sud (Crenos), 2000.
35. Medina, P.; Meléndez, M.; Seim, K. "Productivity Dynamics of the Colombian Manufacturing Sector", documento CEDE, Bogotá, núm. 2003-2023, agosto, 2003.
36. Pedroni, P. "Critical Values for Cointegration Tests in Heterogeneous Panels with Multiple Regressors", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 66, pp. 653-670, 1999.
37. Pesaran, H. "A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross Section Dependence", *Journal of Applied Econometrics*, [en prensa] 2007.
38. Pombo, C. "Productividad industrial en Colombia: una aplicación de números índices", *Revista de Economía del Rosario*, vol. 2, núm. 1, junio, Bogotá, pp. 107-139, 1999a.

39. Pombo, C. "Economías de escala, *markups* y determinantes del cambio técnico en la industria colombiana", *Coyuntura Económica*, vol. 29, núm. 4, Bogotá, pp. 107-139, 1999b.
40. Ramírez, M.; Jaramillo, F. "Los determinantes de la productividad total de los factores en Colombia", Chica, R. (coord.), *El crecimiento de la productividad en Colombia: resultados del estudio sobre determinantes del crecimiento de la productividad*, DNP-Colciencias-Fonade, Bogotá, pp. 51-83, 1996.
41. Rubio, M. "Crimen y crecimiento en Colombia", *Coyuntura Económica*, vol. 25, núm. 1, marzo, Bogotá, pp. 101-125, 1995.
42. Salinas-Jiménez, M. "Efficiency and TFP Growth in the Spanish Regions: The Role of Human and Public Capital", *Growth and Change*, vol. 34, núm. 2, pp. 157-174, 2003.
43. Sánchez, F.; Rodríguez, J. I.; Núñez, J. "Evolución de los determinantes de la productividad en Colombia: un análisis global y sectorial, 1951-1994", Chica, R. (coord.), *El crecimiento de la productividad en Colombia: resultados del estudio sobre determinantes del crecimiento de la productividad*, DNP-Colciencias-Fonade, Bogotá, pp. 3-19, 1996.
44. Sandoval, D. "Fuentes de crecimiento en la productividad de la industria manufacturera 1966-1975", *Desarrollo y Sociedad*, núm. 7, Bogotá, pp. 123-143, 1982.
45. Secretaría de Hacienda Distrital. "El comportamiento de la productividad en la economía bogotana", *Cuadernos de la Ciudad*, Serie Productividad y Competitividad, núm. 1, Bogotá, octubre, 2003a.
46. Secretaría de Hacienda Distrital. "Cambio tecnológico, productividad y crecimiento de la industria en Bogotá", *Cuadernos de la Ciudad*, Serie Productividad y Competitividad, núm. 2, Bogotá, octubre, 2003b.
47. Zuleta, L. "Reestructuración y competitividad de la cadena textil-confecciones en Colombia", Chica, R. (coord.), *El crecimiento de la productividad en Colombia: resultados del estudio sobre determinantes del crecimiento de la productividad*, DNP-Colciencias-Fonade, Bogotá, pp. 345-372, 1996.

ANEXO 1

FUENTES Y DEFINICIÓN DE VARIABLES

Para realizar las estimaciones de la productividad regional en Colombia se utilizó la EAM por área metropolitana a tres dígitos, que realizó el DANE para el período 1975-2000. Para este ejercicio se requerían tres variables: valor agregado, trabajo y acervo de capital.

En cuanto a las regiones, por disponibilidad de la información se utilizaron las áreas metropolitanas. Como en el año 1992 hubo un cambio en la numeración de dichas áreas, se conservó aquella que traían hasta 1991 (Cuadro A1.1).

En cuanto al valor agregado, este se calculó como la producción bruta, menos el valor de las materias primas consumidas (tanto nacionales como extranjeras) y el valor de la energía eléctrica comprada (kw/h). El valor resultante fue deflactado por el deflactor implícito del PIB con base 1994 =100, calculado por el DANE. Posteriormente, se calculó el factor trabajo como el personal ocupado total.

Por último se procedió a calcular el acervo de capital, para lo cual, primero, se calcula la inversión bruta, teniendo en cuenta el cambio metodológico ocurrido en 1991. Para el período 1975-1991 la inversión bruta corresponde a: compra de activos fijos nuevos + compra de activos fijos usados + producción de activos fijos para uso propio – ventas de activos fijos.

Cuadro A1.1

Área metropolitana	Código 1975-1991	Código 1992-2000
Bogotá-Soacha	1	2
Cali-Yumbo	2	4
Medellín-Valle de Aburrá	3	7
Manizales-Villamaría	4	6
Barranquilla-Soledad	5	1
Bucaramanga-Girón-Floridablanca	6	3
Pereira-Santa Rosa de Cabal-Dosquebradas	7	8
Cartagena	8	5
Resto del país	9	9

Para el período 1992-1994 la inversión bruta corresponde a: total de activos fijos comprados nuevos + total de activos fijos comprados usados + total de activos fijos producidos para uso propio + total de activos fijos recibidos por traslado a otro establecimiento + total de activos fijos recibidos por traslado de cuenta – venta de activos fijos – retiros – disminución por traslado a otro establecimiento – disminución por traslado de cuenta.

Para el período 1995-2000 la inversión bruta corresponde a: total de activos fijos por adquisiciones, traslados, recibidos y producidos para uso propio – total de activos fijos, ventas, retiros y traslados.

La serie obtenida de la inversión bruta se deflactó por el deflactor implícito de la formación bruta de capital, con base 1994 = 100, calculado por el DANE; luego, se procedió a calcular el acervo de capital, utilizando la metodología del inventario perpetuo. De acuerdo con esta metodología, el acervo de capital se calcula como:

$$K_{i,t}^r = (1 - \delta_i) * K_{i,t-1}^r + I_{i,t}^r, \quad (\text{A1.1})$$

donde $K_{i,t}^r$ es el acervo de capital del sector i en la región r en el período t ; δ_i es la tasa de depreciación del capital en el sector i ; $K_{i,t-1}^r$ es el acervo de capital del sector i en la región r en el período $t - 1$, e $I_{i,t}^r$ es la inversión bruta del sector i en la región r en el período t .

Sin embargo, como no hay series históricas lo suficientemente largas, la ecuación (A1.1) no se puede utilizar para calcular el acervo inicial de capital. Para solucionar este inconveniente Harberger (1969), en su primer estudio sobre la tasa de rendimiento del capital en Colombia, empleó la siguiente ecuación, que posteriormente se generalizó:

$$K_{i,0}^r = \frac{I_{i,0}^r}{\delta_i + g_i}, \quad (\text{A1.2})$$

donde $K_{i,0}^r$ corresponde al acervo de capital del sector i de la región r en el período inicial; $I_{i,0}^r$ es la inversión bruta del sector i de la región r en el período inicial; g_i es la tasa de crecimiento histórica de la inversión en el sector i hasta el período inicial ($t = 0$).

Tanto la tasa de depreciación como la tasa crecimiento histórica de la inversión fueron suministradas por Carlos Pombo. Infortunadamente estas variables solo se con-

siguen por sector industrial; de tal manera que se asume que son las mismas para todas las áreas metropolitanas.

Una vez se calcularon las series de valor agregado, trabajo y acervo de capital, se procedió a escoger los sectores de la industria manufacturera que serían incluidos, para lo cual únicamente se utilizaron aquellos sectores en donde había información completa para todas las áreas metropolitanas y todo el período de análisis. Los sectores incluidos se exponen en el Cuadro A1.2.

Cuadro A1.2

Sectores	Descripción (CIU, revisión 2)
311	Fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas
312	Alimentos diversos
313	Industria de bebidas
321	Fabricación de textiles
322	Fabricación de prendas de vestir, excepto calzado
324	Fabricación de calzado, excepto de caucho o plástico
331	Industria de la madera y productos de madera y corcho, excepto muebles
332	Fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos
341	Fabricación de papel o productos de papel
342	Imprentas, editoriales e industrias conexas
351	Fabricación de sustancias químicas industriales
352	Fabricación de otros productos químicos
356	Fabricación de productos plásticos NEP
369	Fabricación de otros productos minerales no metálicos
371	Industrias básicas de hierro y acero
381	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo
382	Construcción de maquinaria, excepto eléctrica
384	Material de transporte

ANEXO 2

PRUEBAS DE RAÍZ UNITARIA Y COINTEGRACIÓN PARA DATOS DE PANEL

A. PRUEBA DE RAÍZ UNITARIA PARA DATOS DE PANEL DE HADRI (2000)

Hadri (2000) propone una prueba de raíz unitaria para datos de panel basada en una generalización de la prueba *KPSS* de Kwiatkowski *et al.* (1992), en donde se considera el siguiente proceso para la serie y_{it} :

$$y_{it} = r_{it} + \varepsilon_{it} \tag{A2.1}$$

$$r_{it} = r_{i,t-1} + u_{it} \tag{A2.2}$$

donde $i = 1, \dots, N$, $t = 1, \dots, T$; ε_{it} y u_{it} son mutuamente independientes tales que $\varepsilon_{it} \xrightarrow{iid} N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ y $u_{it} \xrightarrow{iid} N(0, \sigma_u^2)$.

Al igual que Kwiatkowski *et al.* (1992), Hadri (2000) considera la posibilidad de incluir una tendencia determinística; en este caso la ecuación (A2.1) es reemplazada por:

$$y_{it} = r_{it} + \beta_i t + \varepsilon_{it} \tag{A2.3}$$

La hipótesis nula de esta prueba, $H_0 : \sigma_u^2 = 0$, implica que las series $\{y_{it}\}_{i=1, \dots, N}$ son estacionarias. Hadri (2000) propone la siguiente estadística *LM* para evaluar esta prueba:

$$LM_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KPSS_{j,i}; \quad j = \mu, \tau \tag{A2.4}$$

donde $KPSS_{j,i}$ representa la estadística *KPSS*, no panel, para la variable y del individuo i ; el primer subíndice indica el tipo de componente determinístico utilizado; $KPSS_{\mu,i}$ está asociado con el modelo (A2.1) y $KPSS_{\tau,i}$ con el (A2.3).

Adicionalmente, Hadri (2000) encuentra las siguientes distribuciones límite para las estadísticas *LM*:

$$\frac{\sqrt{N} \left(LM_\mu - \frac{1}{6} \right)}{\frac{1}{\sqrt{45}}} \xrightarrow[A]{H_0} N(0,1) \quad \text{y} \quad \frac{\sqrt{N} \left(LM_\tau - \frac{1}{15} \right)}{\sqrt{\frac{11}{6300}}} \xrightarrow[A]{H_0} N(0,1)$$

Hadri y Larsson (2005) extienden los resultados de Hadri (2000) para el caso de muestras finitas en el tiempo. Estos autores recalculan los valores esperados y varianzas de las estadísticas LM en función del valor de T^{18} y obtienen las siguientes distribuciones límite:

$$\frac{\sqrt{N} \left(LM_{\mu} - \frac{T+1}{6T} \right)}{\sqrt{\frac{T^2+1}{20T^2} - \left(\frac{T+1}{6T} \right)^2}} \xrightarrow[A_N]{H_0} N(0,1) \text{ y } \frac{\sqrt{N} \left(LM_{\tau} - \frac{T+2}{15T} \right)}{\sqrt{\frac{(T+2)(13T^2+23)}{2100T^3} - \left(\frac{T+2}{15T} \right)^2}} \xrightarrow[A_N]{H_0} N(0,1)$$

B. PRUEBA DE RAÍZ UNITARIA PARA DATOS DE PANEL DE PESARAN (2003)

La literatura tradicional sobre pruebas de raíz unitaria para datos de panel, como Im, Pesaran y Shin (2003), Maddala y Wu (1999) y Hadri (2000), entre otros, supone que las series de tiempo individuales del panel están independientemente distribuidas entre ellas. Pesaran (2003) utiliza una metodología que relaja este supuesto, pues propone una estadística basada en regresiones similares a las de Dickey y Fuller, en contexto panel, adicionando rezagos de promedios seccionales cruzados de los niveles y primeras diferencias de las series individuales. Estas regresiones son de la siguiente forma:

$$\Delta y_{it} = \phi_i + b_i y_{i,t-1} + c_i \bar{y}_{t-1} + \sum_{j=0}^p d_{ij} \Delta \bar{y}_{t-j} + \sum_{j=1}^p \delta_{ij} \Delta y_{i,t-j} + \varepsilon_{it}; \tag{A2.5}$$

$$i = 1, \dots, N, \quad t = p + 2, \dots, T$$

donde $\bar{y}_t = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_{jt}$ y ϕ_i representan componentes determinísticos, que al igual que

en la prueba de Dickey y Fuller pueden ser: ninguno, constante o constante y tendencia.

Pesaran (2003) evalúa la existencia de raíz unitaria en la serie $\{y_{it}\}$, en un contexto de datos de panel con N individuos y T observaciones en el tiempo ($H_0 : y_{it} \sim I(1)$, $i = 1, \dots, N$) utilizando la siguiente estadística:

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i^* \tag{A2.6}$$

18 Cuando T es un número muy grande se obtienen los resultados de Hadri (2000).

donde:
$$CADF_i^* = \begin{cases} t_i & \text{si } -k_1 < t_i < k_2 \\ -k_1 & \text{si } t_i \leq -k_1 \\ k_2 & \text{si } t_i \geq k_2 \end{cases}, \quad t_i = \frac{\hat{b}_i}{\sqrt{V(\hat{b}_i)}}$$

$$\begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -E(CADF_i) - \Phi^{-1}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)\sqrt{V(CADF_i)} \\ E(CADF_i) + \Phi^{-1}\left(1 - \frac{\varepsilon}{2}\right)\sqrt{V(CADF_i)} \end{bmatrix},$$

$\Phi(\bullet)$ es la función de distribución de una variable aleatoria normal estándar; ε es un número positivo lo suficientemente pequeño (por ejemplo, 1×10^{-6}), y b_i corresponde al coeficiente especificado en (A2.5).

Los valores críticos de la estadística *CIPS* al igual que los valores esperados y varianzas de *CADF* son tabulados en Pesaran (2003); estos valores, $(E(CADF), V(CADF))$, y los valores críticos de *CIPS*, dependen de los componentes determinísticos incluidos en la prueba, y de los valores de N y T .

C. PRUEBA DE RAÍZ UNITARIA PARA DATOS DE PANEL DE JÖNSSON (2004)

Como en el caso de Hadri (2000) y Hadri y Larsson (2005), la prueba de raíz unitaria panel de Jönsson (2004) se basa en una generalización de la prueba *KPSS* de Kwiatkowski *et al.* (1992); sin embargo, y al igual que la prueba de Pesaran (2003), el test de Jönsson es una prueba que considera correlaciones cruzadas entre los individuos del panel.

Jönsson parte de las ecuaciones (A2.1), (A2.2) y (A2.3) y relaja el supuesto de que los errores de la ecuación (A2.1), o (A2.3) según los componentes determinísticos, no están correlacionados a través de los individuos, es decir, $\text{cov}(\varepsilon_{it}, \varepsilon_{jt}) \neq 0 \quad \forall i, j, t$.

En este caso, el autor propone utilizar la estadística de prueba de Hadri para evaluar la hipótesis nula de estacionariedad:

$$\frac{\sqrt{N} (LM_j - E(LM_j))}{\sqrt{V(LM_j)}} \xrightarrow[A]{H_0} N(0,1); \quad j = \mu, \tau$$

donde LM_j es especificado en el expresión (A2.4).

Sin embargo, Jönsson realiza dos modificaciones a la metodología de Hadri: la primera considera la existencia de correlación cruzada y la segunda está relacionada con el valor esperado y varianza de la estadística $LM_j, j = \mu, \tau$.

Con respecto al primer punto, la correlación cruzada entre los errores de las ecuaciones (A2.1) o (A2.3) implica que las estadísticas LM_j no son independientes; por tanto, Jönsson sugiere utilizar el procedimiento de ortogonalización Doornik y Hansen (1994) para obtener las estadísticas LM_j corregidas por este tipo de correlación. Con esto, la estadística de prueba no se aplica sobre los residuos $\hat{\varepsilon}_{ij}$ sino sobre una transformación de estos ($\tilde{\varepsilon}_{ij}$):

$$\tilde{\varepsilon}_t = \hat{\mathbf{H}} \hat{\Lambda}^{-1/2} \hat{\mathbf{H}}' \hat{\mathbf{V}} \hat{\varepsilon}_t$$

donde $\hat{\varepsilon}_t = (\hat{\varepsilon}_{1t} - \bar{\varepsilon}_1, \dots, \hat{\varepsilon}_{Nt} - \bar{\varepsilon}_N)$, $\tilde{\varepsilon}_t = (\tilde{\varepsilon}_{1t}, \dots, \tilde{\varepsilon}_{Nt})$, $\bar{\varepsilon}_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \varepsilon_{it}$, $\hat{\Lambda}$ es una matriz

diagonal que contiene los valores propios de $\hat{\mathbf{C}}$; $\hat{\mathbf{H}}$ es una matriz compuesta por los vectores propios de $\hat{\mathbf{C}}$; $\hat{\mathbf{C}}$ es la matriz de correlaciones de los residuales sin transformar, y $\hat{\mathbf{V}}$ es una matriz diagonal que incluye el inverso multiplicativo de las desviaciones estándar de residuos sin transformar agrupados por individuos.

En relación con la segunda modificación, el autor estima el valor esperado y la varianza de la estadística LM_j por medio de una aproximación basada en un modelo de superficie de respuestas, similar al realizado por MacKinnon (1991) para el caso de algunas pruebas de raíz unitaria y cointegración no panel.

D. PRUEBA DE COINTEGRACIÓN PANEL DE LARSSON ET AL. (2001)

La prueba de cointegración para datos de panel de Larsson, Lyhaga y Löthgren (2001) se basa en la distribución de la media de las estadísticas de la traza propuestas por Johansen (1991). Estas estadísticas están asociadas con el siguiente modelo *VEC* que incluye k variables, N individuos, p rezagos y T observaciones en el tiempo:

$$\Delta Y_{it} = \Pi_i Y_{i,t-1} + \sum_{j=1}^p \Gamma_{ij} \Delta Y_{i,t-j} + \varepsilon_{it}; \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (\text{A2.7})$$

Larsson *et al.* (2001) proponen la estadística LR para probar la hipótesis $H_0 : rango(\Pi_i) = r \quad \forall i = 1, \dots, N$:

$$LR = \frac{\sqrt{N} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N LR_i - E(Z_k) \right)}{\sqrt{V(Z_k)}} \quad (A2.8)$$

En (A2.8) LR_i corresponde a la estadística de la traza de Johansen asociada con el modelo VEC del individuo i ; $E(Z_k)$ y $V(Z_k)$ son el valor esperado y la varianza de la estadística de la traza de Johansen; estos términos dependen del tipo de componentes determinísticos incluidos en (A2.7), del número de variables k , y del número de vectores de cointegración r . $E(Z_k)$ y $V(Z_k)$ son tabulados en Larsson *et al.* (2001) para el caso en que no se consideren componentes determinísticos¹⁹.

Finalmente, Larsson *et al.* (2001) muestran que $LR \xrightarrow[A]{H_0} N(0,1)$; adicionalmente, sugieren utilizar el mismo procedimiento secuencial de Johansen para seleccionar el rango de cointegración.

¹⁹ En el caso en que se incluyan componentes determinísticos en el modelo (A2.7), $E(Z_k)$ y $V(Z_k)$ pueden ser obtenidos utilizando el programa DiSCo de Johansen y Nielsen (1993).

ANEXO 3

COEFICIENTE DE TECNOLOGÍA (A) PARA LAS ÁREAS METROPOLITANAS Y SECTORES INDUSTRIALES EN COLOMBIA (VALOR)

Cuadro A3.1

Sector ^{a/}	Bogotá	Cali	Medellín	Manizales	Barranquilla	Bucaramanga	Pereira	Cartagena	Resto
311	4,3050	4,5394	4,2722	4,5911	4,3261	4,1641	4,6393	4,1487	4,5457
	(0,080)	(0,081)	(0,080)	(0,079)	(0,081)	(0,079)	(0,079)	(0,085)	(0,083)
312	4,6424	4,7836	4,5795	4,9761	4,3448	4,6988	4,0370	4,4857	4,8617
	(0,081)	(0,083)	(0,080)	(0,081)	(0,081)	(0,078)	(0,077)	(0,080)	(0,084)
313	5,3256	5,2066	5,5427	5,4593	5,3939	5,2683	5,0114	4,9333	5,1269
	(0,084)	(0,085)	(0,083)	(0,079)	(0,085)	(0,082)	(0,083)	(0,080)	(0,082)
321	3,9344	3,8552	4,4409	3,8322	4,0561	3,4698	4,5778	3,3799	4,0206
	(0,0792)	(0,079)	(0,081)	(0,078)	(0,080)	(0,082)	(0,080)	(0,084)	(0,082)
322	3,5845	3,6242	3,8206	3,6856	3,4418	3,4924	3,5009	3,1987	3,4103
	(0,075)	(0,073)	(0,074)	(0,074)	(0,074)	(0,073)	(0,074)	(0,074)	(0,073)
324	3,6287	3,4304	3,7176	4,4501	3,5811	3,2438	3,3851	3,0759	3,6199
	(0,076)	(0,074)	(0,075)	(0,078)	(0,075)	(0,074)	(0,074)	(0,077)	(0,074)
331	3,8123	3,8778	3,3978	3,7485	4,5728	3,4522	2,8635	3,3466	3,7218
	(0,075)	(0,077)	(0,075)	(0,077)	(0,081)	(0,073)	(0,074)	(0,074)	(0,078)
332	3,5964	3,2882	3,3055	2,8977	3,3822	3,5375	2,9708	3,1403	3,7227
	(0,076)	(0,075)	(0,076)	(0,076)	(0,076)	(0,073)	(0,074)	(0,075)	(0,075)
341	4,3921	5,2213	4,7894	4,0660	4,9375	3,5078	4,8888	3,6795	4,9055
	(0,080)	(0,085)	(0,082)	(0,076)	(0,079)	(0,073)	(0,081)	(0,072)	(0,082)
342	4,2116	4,4465	4,1031	3,6632	3,5911	3,6009	3,5608	3,7292	3,9153
	(0,080)	(0,079)	(0,079)	(0,077)	(0,080)	(0,078)	(0,075)	(0,077)	(0,076)
351	4,8368	5,0286	4,8816	4,7207	5,5744	4,8376	3,4641	5,5514	4,8591
	(0,084)	(0,085)	(0,085)	(0,080)	(0,089)	(0,085)	(0,089)	(0,089)	(0,089)
352	4,7085	5,1236	4,7380	3,9172	4,5362	3,6294	3,5738	4,5005	4,5970
	(0,082)	(0,082)	(0,081)	(0,078)	(0,078)	(0,071)	(0,081)	(0,077)	(0,080)
356	4,2490	3,9435	4,1486	4,2218	4,0158	4,0466	3,6290	4,6861	4,0060
	(0,080)	(0,079)	(0,079)	(0,075)	(0,081)	(0,076)	(0,078)	(0,084)	(0,078)

Cuadro A3.1 (continuación)

Sector ^{a/}	Bogotá	Cali	Medellín	Manizales	Barranquilla	Bucaramanga	Pereira	Cartagena	Resto
369	4,3089 (0,083)	4,8674 (0,084)	4,0256 (0,079)	4,6581 (0,081)	4,9291 (0,083)	4,5388 (0,081)	3,7947 (0,078)	5,0834 (0,088)	4,6749 (0,085)
371	4,3931 (0,082)	4,7880 (0,084)	4,8201 (0,082)	3,8305 (0,073)	4,2612 (0,074)	3,6014 (0,078)	3,5853 (0,082)	4,6699 (0,069)	4,7846 (0,088)
381	4,0531 (0,080)	4,3007 (0,079)	3,9572 (0,078)	3,9004 (0,078)	4,0651 (0,082)	3,7759 (0,077)	3,3820 (0,076)	4,3134 (0,078)	3,8878 (0,079)
382	4,0441 (0,078)	3,8307 (0,078)	4,0665 (0,078)	4,4714 (0,081)	4,0312 (0,076)	3,7118 (0,077)	3,2495 (0,080)	4,2242 (0,076)	3,7049 (0,077)
384	4,6760 (0,079)	4,1552 (0,078)	4,4457 (0,080)	4,1135 (0,077)	4,0889 (0,081)	4,1730 (0,083)	4,2104 (0,074)	4,2588 (0,083)	3,5686 (0,081)

a/ 311: fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas; 312: fabricación de alimentos diversos; 313: industria de bebidas; 321: fabricación de textiles; 322: fabricación de prendas de vestir, excepto calzado; 324: fabricación de calzado, excepto de caucho o plástico; 331: industria de la madera y productos de madera y corcho, excepto muebles; 332: fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos; 341: fabricación de papel o productos de papel; 342: imprentas, editoriales e industrias conexas; 351: fabricación de sustancias químicas industriales; 352: fabricación de otros productos químicos; 356: productos de plásticos NEP; 369: fabricación de otros productos minerales no metálicos; 371: industrias básicas de hierro y acero; 381: fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo; 382: construcción de maquinaria, excepto eléctrica; 384: material de transporte.

Fuente: DANE, EAM, cálculos de los autores.