

**LOCALIZACIÓN, CRECIMIENTO Y EXTERNALIDADES
REGIONALES. UNA PROPUESTA BASADA EN LA
ECONOMETRÍA ESPACIAL**

Esther Vayá Valcarce

Tesis dirigida por el Dr. Jordi Suriñach
en el marco del programa de doctorado
“Economía i Territori” de la Universidad de Barcelona

Departamento de Econometría, Estadística y Economía Española

Barcelona, Septiembre de 1998.

B.U.B. Secció d'Econòmiques
Diagonal, 690, 08034 Barcelona
Tel. 402 19 66

ANEXO 4.B. DESCRIPCIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES GENERADAS

Caso 1: Homogeneidad		
N=108	1.1) Desviación reducida	$X \sim N(\bar{X}, 0.10 \bar{X})$
	1.2) Desviación media	$X \sim N(\bar{X}, 0.30 \bar{X})$
	1.3) Desviación elevada	$X \sim N(\bar{X}, 0.50 \bar{X})$
Caso 2: Centro-Periferia		
N _C =63 N _P =45	2.1) Desviación intra e intergrupos reducida	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.6 \bar{X}_C$
	2.2) Desviación intragrupos media e intergrupos reducida	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.30 \bar{X}_C)$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.30 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.6 \bar{X}_C$
	2.3) Desviación intragrupos reducida e intergrupos media	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.45 \bar{X}_C$
	2.4) Desviación intra e intergrupos media	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.30 \bar{X}_C)$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.30 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.45 \bar{X}_C$
Caso 3: Monocentro		
Caso 3.a. Monocentro situado en las regiones alemanas, francesas e italianas		
N _C =16 N _P =92	3.a.1.1) Desviación intra e intergrupos reducida	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.70 \bar{X}_C$
	3.a.1.2) Desviación intragrupos media e intergrupos reducida	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.30 \bar{X}_C)$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.30 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.70 \bar{X}_C$
	3.a.1.3) Desviación intragrupos reducida e intergrupos media	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.50 \bar{X}_C$
	3.a.1.4) Desviación intra e intergrupos media	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.30 \bar{X}_C)$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.30 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.50 \bar{X}_C$
N _C =16 N _{Cl} =15 N _P =77	3.a.2.1) Desviación intra e intergrupos reducida	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_{Cl} \sim N(\bar{X}_{Cl}, 0.10 \bar{X}_{Cl})$ $\bar{X}_{Cl} = 0.90 \bar{X}_C$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.85 \bar{X}_{Cl}$
	3.a.2.2) Desviación intragrupos media e intergrupos reducida	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.30 \bar{X}_C)$ $X_{Cl} \sim N(\bar{X}_{Cl}, 0.30 \bar{X}_{Cl})$ $\bar{X}_{Cl} = 0.90 \bar{X}_C$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.30 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.85 \bar{X}_{Cl}$
	3.a.2.3) Desviación intragrupos reducida e intergrupos media	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_{Cl} \sim N(\bar{X}_{Cl}, 0.10 \bar{X}_{Cl})$ $\bar{X}_{Cl} = 0.90 \bar{X}_C$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.70 \bar{X}_{Cl}$
	3.a.2.4) Desviación intra e intergrupos media	$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.30 \bar{X}_C)$ $X_{Cl} \sim N(\bar{X}_{Cl}, 0.30 \bar{X}_{Cl})$ $\bar{X}_{Cl} = 0.90 \bar{X}_C$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.30 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.70 \bar{X}_{Cl}$

<p>3.a.3 Jerarquía 2° orden</p> <p>$N_C=16$ $N_{C1}=15$ $N_{C2}=17$ $N_P=60$</p>	<p>3.a.3.1) Desviación intra e intergrupos reducida</p> <p>3.a.3.2) Desviación intragrupos media e intergrupos reducida</p> <p>3.a.3.3) Desviación intragrupos reducida e intergrupos media</p> <p>3.a.3.4) Desviación intra e intergrupos media</p>	<p>$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_{C1} \sim N(\bar{X}_{C1}, 0.10 \bar{X}_{C1})$ $\bar{X}_{C1} = 0.90 \bar{X}_C$ $X_{C2} \sim N(\bar{X}_{C2}, 0.10 \bar{X}_{C2})$ $\bar{X}_{C2} = 0.85 \bar{X}_{C1}$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.85 \bar{X}_{C2}$</p> <p>$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.30 \bar{X}_C)$ $X_{C1} \sim N(\bar{X}_{C1}, 0.30 \bar{X}_{C1})$ $\bar{X}_{C1} = 0.90 \bar{X}_C$ $X_{C2} \sim N(\bar{X}_{C2}, 0.30 \bar{X}_{C2})$ $\bar{X}_{C2} = 0.85 \bar{X}_{C1}$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.30 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.85 \bar{X}_{C2}$</p> <p>$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_{C1} \sim N(\bar{X}_{C1}, 0.10 \bar{X}_{C1})$ $\bar{X}_{C1} = 0.90 \bar{X}_C$ $X_{C2} \sim N(\bar{X}_{C2}, 0.10 \bar{X}_{C2})$ $\bar{X}_{C2} = 0.85 \bar{X}_{C1}$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.70 \bar{X}_{C2}$</p> <p>$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_{C1} \sim N(\bar{X}_{C1}, 0.30 \bar{X}_{C1})$ $\bar{X}_{C1} = 0.90 \bar{X}_C$ $X_{C2} \sim N(\bar{X}_{C2}, 0.30 \bar{X}_{C2})$ $\bar{X}_{C2} = 0.85 \bar{X}_{C1}$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.30 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.70 \bar{X}_{C2}$</p>
Caso 4. Policentros		
<p>4.1. Policentros sin jerarquía</p> <p>$N_C=11$ $N_P=65$</p> <p>4.2. Policentros con jerarquía</p> <p>$N_C=11$ $N_P=65$ $N_{C1}=32$</p>	<p>4.1.1) Desviación intragrupos reducida</p> <p>4.1.2) Desviación intragrupos media</p> <p>4.2.1) Desviación intragrupos reducida</p> <p>4.2.2) Desviación intragrupos media</p>	<p>$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.65 \bar{X}_C$</p> <p>$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.65 \bar{X}_C$</p> <p>$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.10 \bar{X}_C)$ $X_{C1} \sim N(\bar{X}_{C1}, 0.10 \bar{X}_{C1})$ $\bar{X}_{C1} = 0.50 \bar{X}_C$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.10 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.70 \bar{X}_C$</p> <p>$X_C \sim N(\bar{X}_C, 0.30 \bar{X}_C)$ $X_{C1} \sim N(\bar{X}_{C1}, 0.30 \bar{X}_{C1})$ $\bar{X}_{C1} = 0.50 \bar{X}_C$ $X_P \sim N(\bar{X}_P, 0.30 \bar{X}_P)$ $\bar{X}_P = 0.70 \bar{X}_C$</p>

N: número de regiones; \bar{X} ..media de la variable X; los subíndices C, C1, C2 y P se refieren respectivamente a las regiones que forman parte de las regiones centrales (C), contiguas de primer orden al centro (C1), contiguas de segundo orden al centro (C2) y regiones de la periferia (P).

ⁱ El caso 3.b. relocaliza el monocentro centrado totalmente en las regiones francesas mientras que en el caso 3.c. el citado monocentro se reubica en Portugal y en la mayor parte de las regiones españolas. Todas las condiciones definidas para 3.a.1, 3.a.2 y 3.a.3 son extensibles a los casos 3.b y 3.c. La única diferencia existente se encuentra en el número de regiones vecinas de primer y segundo orden al monocentro. Así, en el caso 3.b. habrían 15 regiones vecinas de primer orden y 17 de segundo, mientras que en el caso 3.c. únicamente se detectan 4 regiones vecinas tanto de primer como de segundo orden.

ANEXO 4.C. LISTADO DE LAS REGIONES ANALIZADAS

a) *Regiones europeas*

Orden asignado	Estado	Región
1	ESP	Galicia
2	ESP	Asturias
3	ESP	Cantabria
4	ESP	País Vasco
5	ESP	Navarra
6	ESP	Rioja, La
7	ESP	Aragón
8	ESP	Cataluña
9	ESP	Castilla-León
10	ESP	Castilla-La Mancha
11	ESP	Valencia
12	ESP	Madrid
13	ESP	Extremadura
14	ESP	Andalucía
15	ESP	Murcia
16	ESP	Baleares
17	ESP	Canarias
18	P	Norte
19	P	Centro
20	P	Lisboa
21	P	Alentejo
22	P	Algarve
23	FR	Nord-Pas-de-Calais
24	FR	Haute-Normandie
25	FR	Picardie
26	FR	Champagne-Ardenne
27	FR	Lorraine
28	FR	Alsace
29	FR	Basse-Normandie
30	FR	Centre
31	FR	Ile de France
32	FR	Bourgogne
33	FR	Franche-Comte
34	FR	Bretagne
35	FR	Pays de la Loire
36	FR	Poitou-Charentes
37	FR	Limousin
38	FR	Auvergne
39	FR	Rhone-Alpes
40	FR	Aquitaine
41	FR	Midi-Pyrenees
42	FR	Languedoc-Roussillon
43	FR	Provence-Alpes-Cote d'Azur
44	I	Valle d'Aosta
45	I	Piemonte
46	I	Lombardia
47	I	Trentino-Alto Adige
48	I	Veneto

49	I	Friuli-Venezia Giulia
50	I	Liguria
51	I	Emilia-Romagna
52	I	Toscana
53	I	Marche
54	I	Umbria
55	I	Lazio
56	I	Abruzzo
57	I	Campania
58	I	Molise
59	I	Puglia
60	I	Basilicata
61	I	Calabria
62	I	Sicilia
63	I	Sardegna
64	GR	Anatoliki Makedonia & Thraki
65	GR	Kentriki Makedonia
66	GR	Dytiki Makedonia
67	GR	Ipeiros
68	GR	Thessalia
69	GR	Dytiki Ellada
70	GR	Stereia Ellada
71	GR	Attiki
72	GR	Peloponnisos
73	GR	Borio Aigaio
74	GR	Notio Aigaio
75	GR	Kriti
108	GR	Ionia Islands
76	GB	Scotland
77	GB	North
78	GB	North West (UK)
79	GB	Yorkshire and Humberside
80	GB	East Midlands
81	GB	Wales
82	GB	West Midlands
83	GB	East Anglia
84	GB	South West (UK)
85	GB	South East (UK)
86	GB	Northern Ireland
87	IR	Ireland
88	DK	Danmark
89	AL	Schleswig-Holstein
90	AL	Hamburg
91	AL	Niedersachsen
92	AL	Bremen
93	AL	Berlin
94	AL	Nordrhein-Westfalen
95	AL	Hessen
96	AL	Rheinland-Pfalz
97	AL	Baden-Wuerttemberg
98	AL	Bayern
99	AL	Saarland
100	HOL	Noord-Nederland
101	HOL	West-Nederland

102	HOL	Oost-Nederland
103	BEL	Zuid-Nederland
104	HOL	Vlaams Gewest
105	BEL	Bruxelles.
106	BEL	Region Wallonne
107	LUX	Luxembourg (Grand-Duche)

E:España; P:Portugal; FR:Francia; I:Italia; GR:Grecia; GB:Gran Bretaña; IR:Irlanda; DK:Dinamarca;
 A:Alemania; HOL:Holanda; BEL:Bélgica; LUX:Luxemburgo.

b) Provincias españolas

Orden asignado	Orden utilizado para las provincias españolas
1	Alava
2	Albacete
3	Alicante
4	Almería
5	Asturias
6	Avila
7	Badajoz
8	Barcelona
9	Burgos
10	Cáceres
11	Cádiz
12	Cantabria
13	Castellón
14	Ciudad Real
15	Córdoba
16	Coruña, La
17	Cuenca
18	Gerona
19	Granada
20	Guadalajara
21	Guipúzcoa
22	Huelva
23	Huesca
24	Jaén
25	León
26	Lérida
27	Lugo
28	Madrid
29	Málaga
30	Murcia
31	Navarra
32	Orense
33	Palencia
34	Pontevedra
35	Rioja, La
36	Salamanca
37	Segovia
38	Sevilla
39	Soria
40	Tarragona

41	Teruel
42	Toledo
43	Valencia
44	Valladolid
45	Vizcaya
46	Zamora
47	Zaragoza

CAPÍTULO 5:

**CRECIMIENTO, CONVERGENCIA Y EXTERNALIDADES REGIONALES.
LA ECONOMETRÍA ESPACIAL COMO LA VÍA NATURAL PARA LA
CONSIDERACIÓN DE LAS INTERDEPENDENCIAS ENTRE REGIONES**

5.1 Introducción

Una de las principales conclusiones que se han podido derivar del análisis espacial efectuado en el capítulo 4 es la existencia, a lo largo de todo el período analizado, de un esquema de autocorrelación espacial altamente significativo en variables como el producto p.c. o la productividad, tanto en el seno de las regiones europeas como de las provincias españolas. De esta forma, la hipótesis de aleatoriedad en la distribución espacial de las mismas ha sido consistentemente rechazada, detectándose en su lugar una evidente tendencia hacia la agrupación de valores similares de producto o de productividad (así como de sus tasas de crecimiento) entre regiones próximas en el espacio.¹

Tras el resultado antes comentado, surge una pregunta inmediata, ¿cuáles son las razones que explican los esquemas espaciales detectados? o, lo que es lo mismo, ¿por qué regiones vecinas tienden a mostrar valores similares de las variables anteriores? En este sentido, cabría identificar dos tipos de factores explicativos de la asociación espacial detectada. En el primer grupo podríamos incluir a todos aquellos factores, ajenos o exógenos al comportamiento de las propias regiones, que afectarían por igual a regiones vecinas como, por ejemplo, factores de tipo institucional, climático, geográfico (ubicación geográfica respecto a los grandes mercados) o factores relacionados con la dotación de recursos naturales. En cambio, el origen del segundo tipo de factores explicativos cabría encontrarlo en la existencia de interdependencias significativas entre regiones vecinas (entendiendo el concepto de vecindad bajo un sentido amplio). Así, cabría pensar que, como consecuencia de la propia actividad de las regiones y por medio de múltiples vías, se han ido gestando vínculos entre regiones próximas que han podido condicionar la evolución seguida por las mismas, explicando, al menos en parte, la similitud encontrada tanto en el nivel como en las tasas de crecimiento de las variables antes mencionadas.

¹ Este esquema de dependencia espacial ha sido detectado no únicamente entre regiones vecinas sino también entre regiones contiguas de órdenes superiores.

En este sentido, el presente capítulo se centrará precisamente en el segundo tipo de factores mencionados: las interdependencias entre regionales o, de ahora en adelante, externalidades regionales. En concreto, en los siguientes apartados se tratará de responder a las siguientes cuestiones:

- ¿es necesario considerar la existencia de externalidades entre economías regionales?
- ¿pueden influir dichas externalidades en el crecimiento y convergencia regional? y si es así, ¿de qué forma?
- ¿pueden explicar las externalidades regionales la existencia de trampas de pobreza relacionadas con la localización geográfica de las regiones?
- ¿cómo se pueden incorporar explícitamente dichas externalidades en los modelos de crecimiento y convergencia habituales?

En este sentido, y en relación a la última de las cuestiones planteadas, en el presente capítulo se apuesta nuevamente por la Econometría Espacial, considerándola como una vía natural para la contrastación, especificación y estimación de lo que hemos denominado anteriormente como externalidades regionales.

Teniendo en cuenta todo ello, el capítulo 5 se estructura de la siguiente forma. En el apartado 5.2 se justifica la necesidad de considerar en los modelos de crecimiento las externalidades regionales, analizando las vías que pueden fomentar su aparición. En el apartado 5.3 se presenta un sencillo modelo de crecimiento en el que se introduce el supuesto de existencia de interdependencia tecnológica entre regiones, analizando sus implicaciones tanto para el estado estacionario de una economía regional como para su tasa de crecimiento óptima. Asimismo, y con el propósito de estudiar las consecuencias de las externalidades regionales sobre la transición dinámica hacia dicho estado estacionario, se deriva la ecuación de convergencia asociada al modelo presentado. Seguidamente, y dado que la Econometría Espacial se revela como un instrumento útil para la contrastación y cuantificación de las externalidades regionales, en el apartado 5.4

se lleva a cabo un breve repaso de las principales técnicas de contrastación y estimación de dependencia espacial en un modelo de regresión que serán posteriormente aplicadas. En los apartados 5.5 y 5.6 se realizan dos ejercicios aplicados con el objetivo de contrastar la significación de las citadas externalidades regionales. Así, en el apartado 5.5 se adapta el modelo teórico de crecimiento desarrollado en el apartado 5.3, estimando una función de producción con externalidades regionales para el caso de las regiones españolas. En el 5.6, tomando como muestra de referencia a las regiones europeas, se procede a estimar la ecuación de convergencia en presencia de *spillovers* regionales, analizando los efectos que éstos últimos tienen sobre el valor estimado de la velocidad de convergencia.

5.2 Crecimiento y externalidades regionales

Tal y como se comentó en el capítulo 3, el concepto de externalidad o de economías externas surge por primera vez en el trabajo de Marshall en 1920. En este sentido, el citado autor explicaba la concentración de la actividad industrial como consecuencia de tres factores clave: por una parte, la existencia de un mercado de trabajo conjunto y la presencia de vínculos *forward* y *backward* (externalidades pecuniarias) y, por la otra, la existencia de osmosis o desbordamiento tecnológico, derivado de la transmisión e intercambio rápido de información entre firmas próximas en el espacio. A su vez, vimos que, con el propósito de compatibilizar dichas externalidades con el concepto de rendimientos decrecientes imperante en aquella época, Marshall introdujo el supuesto de economías externas a las firmas pero internas a la industria. Posteriormente, dichas externalidades pasarían a tener un papel protagonista en los modelos desarrollados en el marco de la Nueva Geografía Económica.

No obstante, cabe destacar que el concepto de externalidad no es exclusivo de los modelos de localización industrial. Como se describió en el apartado 3.4, en el seno de las teorías de crecimiento, diversos autores han recurrido al concepto de economías externas para poder explicar la existencia de crecimiento endógeno (crecimiento sostenido a largo plazo), evitando con ello las dificultades derivadas de suponer explícitamente rendimientos crecientes a nivel interno de cada firma. Así, la

consideración de efectos desbordamiento en la acumulación de capital físico (Arrow, 1962; Romer, 1986) o humano (Lucas, 1988) permitirían la existencia de rendimientos crecientes para la economía en su conjunto, contradiciendo las predicciones del modelo de Solow respecto a la imposibilidad de crecimiento sostenido y de convergencia regional. A su vez, autores como Romer (1987,1990), Grossman y Helpman (1991), Aghion y Howitt (1992) o Jones (1995) sostenían la idea de la acumulación de conocimiento como determinante del crecimiento, una acumulación de conocimiento que surgiría de un proceso costoso de inversión en I+D. En este caso, el supuesto de la existencia de una apropiación incompleta de las ideas e innovaciones permitiría la consideración de un conocimiento agregado a nivel de firmas. De esta forma, las innovaciones se transmitirían desde la firma en la que inicialmente se diese el proceso de inversión hacia el resto de firmas. En este caso, los *spillovers* de conocimiento llevarían a incrementar el nivel tecnológico de toda la economía en su conjunto, de manera que la tasa de rendimiento agregada (o social) sería mayor que la tasa de rendimiento privada considerada por los agentes individuales.

5.2.1 El concepto de externalidades regionales

Partiendo del concepto que acabamos de comentar de difusión tecnológica, y a partir de los artículos germinales de Caballero y Lyons (1990), diversos trabajos han tratado de analizar desde un punto de vista empírico la importancia de las externalidades a nivel sectorial (Suárez Bernaldo de Quiros, 1992; Raut, 1995; Burnside, 1996). En concreto, han contrastado la existencia y el tamaño de los *spillovers* tecnológicos a través de las industrias de una misma economía, obteniendo como principal conclusión que cuando dichas economías externas no son consideradas explícitamente, los rendimientos internos de la industria están sesgados claramente al alza.

Sin embargo, ¿por qué suponer que la difusión tecnológica se limita únicamente al interior de las fronteras de una economía?, ¿por que no suponer, en su lugar, que las ideas tecnológicas generadas tras la acumulación de capital traspasan muy posiblemente las débiles fronteras administrativas y se difunden más allá de los propios lindes de la

región, apropiándose de ellas firmas ubicadas en regiones o países cercanos?² En este sentido, Lucas (1993) establece la posibilidad de interacciones entre diferentes economías afirmando que, en presencia de *spillovers* entre economías en la acumulación de capital humano, todas las economías convergerían a un mismo estado estacionario, con independencia de las condiciones iniciales de las que éstas partiesen. Por otra parte, Kubo (1995) considera teóricamente el papel de la acumulación de factores de producción de una región en el *output* de otra región, analizando la posibilidad de la existencia de un desarrollo igual o desigual entre dichas regiones en función tanto de la magnitud de los rendimientos internos a escala de ambas regiones como del valor del efecto externo. Por último, Ciccone (1997) incorpora explícitamente el supuesto de interdependencia tecnológica entre economías.

Respecto a los canales que podrían propiciar dichas interacciones, cabría destacar el papel fundamental del comercio. Así, Coe y Helpman (1995) parten del supuesto de que el conocimiento derivado de las inversiones en I+D realizadas en un país determinado se encuentra incorporado en los productos que son intercambiados a nivel internacional, favoreciendo por tanto la aparición de *spillovers* internacionales de conocimiento. En este caso, los socios comerciales de dicho país podrían beneficiarse de las innovaciones aparecidas en el mismo sin asumir el coste de las inversiones en I+D efectuadas por aquél, incidiendo positivamente en el crecimiento a nivel internacional. Siguiendo la misma idea, Helpman (1997) sostiene que tanto el comercio como la inversión extranjera directa contribuyen a la productividad total de los factores, permitiendo que determinados países puedan acceder a bienes y servicios que incorporan conocimientos y tecnologías extranjeras a las que no podrían acceder de otra forma, dado el excesivo coste que supondría desarrollarlas a nivel nacional.³

² Si bien a lo largo del capítulo nos centraremos básicamente en el concepto de externalidades inter-regionales de tipo tecnológico, también es posible la existencia de externalidades pecuniarias entre regiones. En este sentido, en caso de alcanzar la masa crítica definida por Puga y Venables (1996b), es posible que las firmas decidan localizarse en regiones próximas a las inicialmente industrializadas de manera que pueden seguir beneficiándose de algún tipo de economías externas pero sin las deseconomías existentes en aquéllas, derivadas de unos elevados costes de los factores de producción, de una importante congestión, etc.

³ Ambos canales cobran especial importancia en el caso de los países en vías de desarrollo.

No obstante, si bien podrían aparecer *spillovers* de conocimiento a nivel internacional, cabría esperar que la difusión tecnológica fuese más probable entre economías regionales⁴ que forman parte de una área integrada.⁵ En este caso, serían de esperar menos trabas al intercambio de bienes, favoreciendo por tanto los mecanismos de difusión apuntados a nivel internacional. Asimismo, tal y como comenta Keller (1997), a nivel de economías regionales, podrían estar presentes otros canales de difusión alternativos al comercio. Así, por ejemplo, en el interior de un país concreto, aun cuando los principales laboratorios y centros de I+D estuvieran únicamente localizados en regiones específicas, el resultado de la investigación realizada en el seno de dichos centros podría ser también apropiada por el resto de regiones del citado país. Esta idea se vería reforzada en el caso de que dichos laboratorios fueran financiados públicamente, en la medida en la que la administración potenciaría la difusión de las innovaciones alcanzadas en todo el territorio.

Asimismo, cabría pensar que la difusión tecnológica podría ser más intensa entre regiones cercanas. Así, inspirándonos en las ideas de Henderson (1992), Glaeser *et al* (1992) o en de Lucio (1997), sería de esperar que la proximidad favoreciese el intercambio de ideas e innovaciones. Este hecho se vería reforzado, entre otros, por dos factores importantes. Primero, por el mayor nivel esperado de intercambios comerciales existentes cuanto menor es la distancia que separa a dos regiones. Y, segundo, y siguiendo a Rodríguez-Pose (1998), porque regiones cercanas pueden compartir condiciones locales sociales similares que permitan un mayor intercambio de innovaciones así como una mejor y más rápida adaptación de las mismas.

⁴ De hecho, la evidencia empírica no corroboraría la predicción de Lucas (1993) de convergencia a un mismo estado estacionario de todas las economías como consecuencia de los *spillovers* derivados de la acumulación de capital humano.

⁵ De igual forma, cabría esperar que las externalidades entre economías de tipo pecuniario (tal y como las definió Scitovsky en 1954), derivadas de vínculos *forward* y *backward* y de mercados de factores especializados comunes, fuesen también más importantes a nivel regional. En este caso, hablaríamos de economías de aglomeración a escala suprarregional.

5.2.2 Evidencia empírica previa a favor de la existencia de externalidades regionales

Por tanto, y teniendo en cuenta lo comentado anteriormente, parece que el supuesto acerca de la existencia de externalidades regionales se vería respaldado, al menos, desde un punto de vista teórico. Sin embargo, y en contraposición a lo ocurrido a nivel sectorial, la mayor parte de los modelos empíricos de crecimiento que utilizan datos a nivel nacional o regional no han considerado la posibilidad de la presencia de economías externas que excedan de las propias fronteras regionales o nacionales.

Este hecho podría verse justificado si previamente se hubiese constatado la inconsistencia de la hipótesis antes planteada. En este sentido, un argumento en contra de la relevancia de las externalidades entre economías lo encontraríamos en Costello (1993). Dicho autor, tras un análisis de las correlaciones del residuo de Solow entre un total de 6 países de la OCDE y 5 industrias, mostró como en el corto plazo el crecimiento de la productividad total de los factores estaba más correlacionada entre industrias dentro de un mismo país que entre economías dentro de una misma industria.⁶ Sin embargo, opuesto al anterior, Kollmann (1995) observó, para el caso americano, una mayor correlación del crecimiento de la productividad entre regiones dentro de una misma industria que entre industrias dentro de una misma región. Asimismo, encontró evidencia a favor de una mayor correlación entre las regiones americanas que entre los países que forman parte del G7, corroborando con ello el supuesto antes apuntado de la mayor probabilidad de existencia de externalidades entre regiones que a nivel internacional. Para el caso de las regiones españolas, López-Bazo *et al* (1998) muestran que las correlaciones entre regiones son al menos tan importantes como las correlaciones entre industrias, tanto en términos de correlación en tasas de crecimiento del producto como de la productividad total de los factores.

Asimismo, el supuesto de externalidades regionales se ve apoyado a nivel empírico por los resultados obtenidos por Quah (1996d). Dicho autor, tras condicionar la función de

⁶ No obstante, Costello obtuvo que la correlación entre países era superior en términos de crecimiento del *output* que en términos de crecimiento de la productividad.

densidad para el producto p.c. al valor de dicha variable en las regiones europeas vecinas, corrobora la importancia de los *spillovers* geográficos a la hora de explicar la dinámica de la distribución de los ingresos, obteniendo una distribución del producto p.c. regional altamente más concentrada de la que se obtendría al graficar la función de densidad para la variable real. Por otra parte, Barro y Sala-i-Martin (1995), basándose en la idea, introducida por Chua (1993), de que un país puede beneficiarse del incremento de la actividad económica de sus países vecinos (fruto de un incremento en la oferta de conocimiento tecnológico o de trabajo cualificado), introducen en la ecuación de convergencia condicionada el promedio del logaritmo del producto p.c. en los países inmediatamente vecinos, el cual resulta ser positivo y significativo. Por otra parte, Carlino y DeFina (1995) corroboran por medio de un modelo VAR la importancia y persistencia de los *spillovers* inter-regionales para el caso americano. Asimismo, Armstrong (1995) detecta la presencia de una significativa correlación espacial en el término de perturbación de la ecuación de convergencia para 85 regiones europeas en términos de producto p.c., evidenciando las interrelaciones existentes a nivel regional europeo. De forma similar, Steiz (1995), en el ámbito de las regiones alemanas, encuentra evidencia a favor de efectos externos espaciales cuando analiza la convergencia en salarios, al contrario de lo ocurrido en términos de producto p.c. A su vez, Ades y Chua (1997) encuentran evidencia a favor de la existencia de *spillovers* negativos entre países vecinos políticamente inestables, encontrando asimismo que las ganancias derivadas de la reducción de la inestabilidad sobrepasan las fronteras del país en el que se ha producido dicha reducción. Por último, Ciccone (1997) partiendo de una muestra formada por 98 países de todo el mundo, incorpora explícitamente la interdependencia tecnológica entre países vecinos en la ecuación de convergencia, obteniendo que un incremento en un 10% en la productividad total de los factores (PTF) en los países vecinos a un país i supone un ascenso de un 6% en la PTF de dicho país. Asimismo, encuentra evidencia a favor de la existencia de efectos externos significativos en el interior de cada país asociados a la acumulación de capital físico (pero no de capital humano).

Por último, y como complemento a las aportaciones anteriores, cabría apuntar como la clara evidencia encontrada en el capítulo 4 de la presente tesis a favor de la existencia de

autocorrelación espacial en el producto entre regiones próximas, tanto a nivel regional europeo como provincial español, vendrían a apoyar, al menos en parte, el supuesto en torno a la posible existencia de externalidades regionales. En este caso, la autocorrelación espacial detectada podría ser explicada por la existencia de autocorrelación tanto en las tasas de inversión (como consecuencia de semejanzas en las tasas de ahorro o en otros parámetros de preferencias) como en los niveles de tecnología de cada economía (explicada por la mayor intensidad en la difusión tecnológica entre regiones vecinas).

A modo de conclusión, en el presente apartado se ha destacado la posible existencia de *spillovers* o externalidades entre economías (especialmente probables cuando se trata de economías regionales y éstas se encuentran próximas en el espacio), encontrando evidencia a favor de las mismas tanto desde un punto de vista teórico como empírico. Partiendo de este supuesto, en el apartado siguiente se procederá a incluir de forma explícita las citadas externalidades regionales en el ámbito de los modelos de crecimiento y convergencia regional.

5.3 Presentación de un modelo teórico de crecimiento con externalidades regionales

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente apartado es el de presentar un sencillo modelo de crecimiento que incorpore de forma explícita la existencia de externalidades regionales derivadas de la existencia de difusión tecnológica entre regiones próximas. A partir del mismo, se analizarán las consecuencias de dicho supuesto en el nivel de equilibrio a largo plazo o estado estacionario y en el ratio de crecimiento de una región. Seguidamente, y como paso lógico, se discutirán las consecuencias de la existencia de externalidades regionales para la convergencia a nivel regional.

5.3.1 Externalidades regionales en la función de producción

Consideremos una economía donde el nivel medio de productividad laboral se ve explicado por, primero, la cantidad acumulada de factores de producción y, segundo,

por el nivel de tecnología. Concretamente, para modelizar dicha economía utilizaremos una función de producción habitual de tipo Cobb-Douglas,

$$y_{it} = A_{it} k_{it}^{\alpha} \quad (5.1)$$

donde y_{it} representa el nivel medio de productividad laboral en una región i en el período t , k_{it} es un vector de factores acumulados como, por ejemplo, el capital físico y humano por trabajador y A_{it} representa el estado de la tecnología. Asimismo, se supone la existencia de rendimientos decrecientes de los factores acumulables, de manera que $\alpha < 1$.⁷

No obstante, vamos a considerar que el nivel agregado de tecnología de una región i se encuentra explicado, al menos parcialmente, de forma endógena. Concretamente, en la función (5.1) serán introducidos dos supuestos básicos. En primer lugar, y siguiendo a Romer (1986) y a Lucas (1988), se va a considerar que la acumulación de capital privado da lugar a un conjunto de nuevas ideas que no pueden ser internalizadas o apropiadas enteramente por el agente inversor situado en una región i , beneficiándose por tanto otras firmas situadas en esa misma región i , las cuales verán incrementar también su nivel de productividad. Este supuesto llevará a que el nivel agregado de tecnología incremente con el nivel agregado de k_{it} .

En segundo lugar, y a partir de lo expuesto en los apartados anteriores, se va a considerar la existencia de *spillovers* tecnológicos o de interdependencia tecnológica. Este supuesto implicará que las nuevas ideas o innovaciones fluirán a través de las fronteras regionales, beneficiándose por tanto una región i del esfuerzo inversor realizado en sus regiones vecinas.

La consideración explícita de ambos supuestos lleva a explicar el estado de la tecnología en una región y un período determinado como:

⁷ Esta función ha sido derivada tras imponer en la expresión: $Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\alpha} L_{it}^{\beta}$ el supuesto de rendimientos constantes a escala.

$$A_{it} = \Delta_t k_{it}^{\delta} k_{pit}^{\gamma} \quad (5.2)$$

donde Δ_t representa aquella parte de la tecnología generada por razones exógenas al modelo y que crecería a una tasa constante. La componente k_{it}^{δ} recoge el primer supuesto definido, siendo δ una medida del grado de rendimientos externos de k dentro de la propia región i . El segundo supuesto considerado queda recogido en la componente k_{pit}^{γ} , donde k_{pit} representa la cantidad de capital por trabajador promedio acumulado en las regiones vecinas a i , siendo γ la elasticidad del nivel agregado de tecnología en la región i respecto a la intensidad de factores presente en sus regiones vecinas. Es decir, γ medirá la intensidad de la interdependencia tecnológica entre una región i y sus vecinas (se supone que γ tendrá signo positivo).⁸

A partir de la expresión (5.2) es fácil observar como introduciendo el supuesto de que $\delta=\gamma=0$, nos encontraríamos ante el modelo clásico de Solow-Swan, donde no existiría ningún tipo de externalidad, mientras que si se impone que $\gamma=0$, el modelo sería similar a aquéllos descritos por Romer y Lucas.

Seguidamente, sustituyendo (5.2) en (5.1) obtendremos la siguiente expresión para la función de producción:

$$y_{it} = \Delta_t k_{it}^{\tau} k_{pit}^{\gamma} \quad (5.3)$$

donde τ es igual a la suma de los rendimientos internos (α) y externos (δ) del capital dentro de la propia región i . Así, un incremento en la intensidad de los factores de una región i producirá un rendimiento total en i igual a τ , mientras que un incremento simultáneo de la intensidad de los factores en la región i y en sus vecinas llevará a un incremento de la productividad de la región i en un $(\tau+\gamma)\%$. A su vez, aun bajo el supuesto de que k_{it} no incrementase, la productividad en la región i sí lo haría siempre

⁸ Este supuesto implicaría que la tecnología es un bien no rival y no apropiable, al menos en el marco de regiones vecinas. Si, por el contrario, se estableciese el supuesto de que $\gamma < 0$, nos hallaríamos ante un caso de competencia tecnológica (no de complementariedad).

que se llevase a cabo un proceso de inversión en sus regiones vecinas, haciendo más productivo el stock de capital de dicha región.

A partir de la expresión (5.3), y suponiendo una tasa de ahorro endógena, es posible expresar la tasa de crecimiento de k_i como:

$$\frac{\dot{k}_i}{k_i} = \Delta k_i^{-(1-\tau)} k_{pi}^\gamma - \frac{c_i}{k_i} - (d+n) \quad (5.4)$$

donde c_i es el consumo p.c. en la región i , d la tasa de depreciación del stock de capital y n la tasa de crecimiento de la población, siendo por tanto $(d+n)$ la tasa de depreciación efectiva del capital.⁹ Como se puede observar, bajo el supuesto de rendimientos decrecientes totales dentro de la propia región ($\tau < 1$), la tasa de crecimiento de k_i es una función decreciente del stock de capital acumulado en la propia región, mientras que presenta la relación inversa respecto al stock en sus regiones vecinas. Este último resultado implica que la inversión será mayor en i siempre que ésta se encuentre rodeada de regiones con elevada intensidad de capital en la medida en que la existencia de *spillovers* tecnológicos llevarán a hacer más productiva su inversión.

Por último, cabe destacar que con el objetivo de simplificar la notación, se considera que la componente tecnológica exógena es constante en el tiempo.¹⁰

Tasa de crecimiento de equilibrio

Una vez analizada la tasa de crecimiento de k_i , cabría plantear cuál será la tasa de crecimiento a la que crecerá la economía en el largo plazo. Para ello, establecemos el supuesto de que las familias (productoras de bienes) maximizan una función de utilidad U de horizonte infinito como la siguiente (similar a la descrita en el capítulo 3):

⁹ Preferimos omitir los subíndices relativos al período temporal con la finalidad de simplificar la notación.

¹⁰ En caso de que se considerase como no constante sino que creciese a la tasa g habitual, el modelo debería de ser expresado en unidades de eficiencia, incluyéndose la tasa g en la tasa de depreciación efectiva del capital.

$$U(0) = \int_0^{\infty} e^{-(\varphi-n)t} \left(\frac{c_i^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \right) dt \quad (5.5)$$

donde φ representa la tasa de descuento ($\varphi > n$) y σ es la inversa de la elasticidad de sustitución (la cual recogerá el grado de disponibilidad de los consumidores para suavizar su consumo a través del tiempo).

De forma similar a lo descrito en el capítulo 3, la tasa de crecimiento óptima del consumo p.c. (y, por tanto, la tasa de crecimiento óptima de la economía) deberá de ser obtenida tras un proceso de maximización de la utilidad definida en (5.5) sujeta a la siguiente restricción presupuestaria:

$$\dot{k}_i = \Delta k_i^\tau k_{\rho i}^\gamma - c_i - (d+n)k_i \quad (5.6)$$

En este caso, para resolver el problema de optimización se deberá de escribir el Hamiltoniano (ver Barro y Sala-i-Martin, 1995), el cual tendrá la siguiente expresión:

$$H = e^{-(\varphi-n)t} \left(\frac{c_i^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \right) + v \left(\Delta k_i^\tau k_{\rho i}^\gamma - c_i - (d+n)k_i \right) \quad (5.7)$$

donde v es el multiplicador dinámico de Lagrange. Las condiciones de primer orden serán las siguientes:

$$\begin{aligned} \frac{dH}{dc_i} &= 0, & v &= e^{-(\varphi-n)t} c_i^{-\sigma} \\ \frac{dH}{dk_i} &= -\dot{v}, & -\dot{v} &= v \left(\Delta \tau k_i^{-(1-\tau)} k_{\rho i}^\gamma - d - n \right) \\ \lim_{t \rightarrow \infty} k_{it} v_t &= 0 \end{aligned} \quad (5.8)$$

siendo la última de las expresiones la condición de transversalidad.¹¹ A partir de la expresión (5.8), es inmediato derivar la tasa de crecimiento óptima del consumo p.c., de manera que:

$$g_c = \frac{\dot{c}_i}{c_i} = \frac{1}{\sigma} \left(\tau \Delta k_i^{-(1-\tau)} k_{pi}^\gamma - \varphi - d \right) \quad (5.9)$$

Dado que se asume que $g_c = g_k = g_y$ ¹², ello supone que el ratio de crecimiento de una región i depende del stock de capital en sus regiones vecinas.

Asimismo, y bajo el supuesto de que en el equilibrio a largo plazo todas las regiones mostrarán la misma intensidad de capital, $k_i = k \forall i$, la tasa de crecimiento de la economía en el largo plazo será igual a:

$$g_c = \frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\sigma} \left(\tau \Delta k^{-(1-(\tau+\gamma))} - \varphi - d \right) \quad (5.10)$$

A partir de la expresión (5.10), es posible distinguir tres situaciones diferentes. En un primer caso, cabría suponer que, a pesar de la existencia de rendimientos externos dentro de la región y de *spillovers* regionales tecnológicos¹³, éstos no son suficientemente intensos como para compensar los rendimientos decrecientes internos del factor K ($\alpha < 1$). En este caso, tendríamos que $0 < \tau + \gamma < 1$, es decir, rendimientos globales decrecientes. De esta forma, en el largo plazo la tasa de crecimiento de las variables expresadas en términos de población ocupada se igualaría a 0, es decir, $g_c = g_k = g_y = 0$, derivándose por tanto una intensidad de capital en el estado estacionario igual a:

¹¹ Si suponemos un horizonte temporal finito, la condición de transversalidad implicaría que los agentes optimizadores no dejan nada que tenga valor para después de su muerte (Sala-i-Martin, 1994).

¹² Como se puede observar, al no incluir el stock de capital sino la intensidad del mismo, es decir, el ratio K/L , se evita el ya conocido efecto escala (de manera que aquellas economías con una mayor población no mostrarán necesariamente una mayor tasa de crecimiento).

¹³ No obstante, si bien a lo largo del capítulo haremos referencia a externalidades regionales tecnológicas, es posible que estén también presentes, siguiendo la clasificación de Scitovsky, externalidades de tipo pecuniario.

$$k^* = \left(\frac{\tau\Delta}{\phi + d} \right)^{\frac{1}{1-(\tau+\gamma)}} \quad (5.11)$$

En este caso, nos hallaríamos ante un modelo estable donde k^{*14} dependerá tanto del estado de la tecnología, como de los parámetros de preferencias y de la intensidad de las externalidades incorporadas. Asimismo, se puede observar como cuanto mayor sea la interdependencia tecnológica (γ), mayor será el stock de capital por trabajador de la economía en el equilibrio. Por último, y en relación al supuesto de rendimientos decrecientes, sería de esperar, como en el modelo de Solow-Swan, convergencia en el largo plazo de todas las regiones.

Una solución diferente sería obtenida si la economía presentase rendimientos globales constantes, es decir, $\tau+\gamma=1$, llevando a la aparición de crecimiento endógeno (crecimiento positivo a largo plazo). En este caso, nos hallaríamos ante el supuesto ya analizado en el capítulo 3 de una tecnología AK. Este hecho llevaría a que, a diferencia del caso anterior, existiese una tasa de crecimiento constante e igual a:

$$g_c = \frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\sigma}(\tau\Delta - \phi - d) \quad (5.12)$$

no existiendo por tanto un nivel de estado estacionario para el stock de capital por trabajador. En este caso, este modelo no implicaría convergencia, manteniéndose constante el *gap* en el producto p.c. entre las regiones.

Por último, podría ocurrir que $\tau+\gamma>1$. De esta forma, y a diferencia del caso donde $\tau+\gamma<1$, los efectos externos dentro de la propia región y entre regiones serían suficientemente intensos como para permitir, al igual que en el caso anterior, crecimiento endógeno. En este caso, el supuesto de rendimientos crecientes de k

¹⁴ Todas las regiones compartirán el mismo stock de capital por trabajador en el estado estacionario en la medida en que los rendimientos de la inversión en un grupo de regiones vecinas es globalmente una función decreciente de la intensidad de capital promedio en ese grupo.

conduciría a la divergencia regional en la medida en que aquellas regiones que mostrasen superiores intensidades de capital por trabajador crecerían a una tasa superior.

La solución del planificador

Llegado a este punto cabe destacar que, como se mencionó en el capítulo 3, la presencia de externalidades implica necesariamente que la solución de mercado no es la óptima en la medida en que se producirá una sub-inversión privada. Es decir, cada región invertirá una cantidad de capital inferior a la óptima para el conjunto de regiones dado que únicamente tendrá en cuenta la tasa de rendimiento privado (o interno) que se deriva de sus inversiones, sin considerar los efectos positivos que éstas últimas tendrán para las firmas localizadas en regiones vecinas. En este caso, la solución se encontrará en la existencia de un planificador central o agente supraregional, quien internalizará las externalidades existentes, considerando por tanto no la tasa de rendimiento privada sino la social. Así, el problema de optimización del citado planificador será el siguiente:

$$\max U = \int_0^{\infty} e^{-(\varphi-n)t} \left(\frac{c^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \right) dt \quad (5.13)$$

sujeto a la restricción siguiente:

$$\dot{k} = \Delta k^{\tau+\gamma} - c - (d+n)k \quad (5.14)$$

Tras comparar las expresiones (5.6) y (5.14) se puede observar como, en este caso, el planificador central considerará el nivel promedio de k y no el únicamente el existente en una región i determinada. Así, y tras calcular nuevamente el Hamiltoniano y solucionar las condiciones de primer orden, la tasa de crecimiento óptima supraregional del consumo p.c. será:

$$g_c = \frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\sigma} \left((\tau + \gamma) \Delta k^{-(1-(\tau+\gamma))} - \varphi - d \right) \quad (5.15)$$

En este caso, se observa como en presencia de interdependencia tecnológica ($\gamma > 0$), la tasa de crecimiento de la economía a nivel agregado asociada con la solución del planificador será superior a aquella derivada del funcionamiento estricto del mercado (ejemplos de ello cabría encontrarlos en el caso de la inversión en capital humano, en I+D o en infraestructuras). En este resultado cabría encontrar una posible justificación para la existencia de agencias supraregionales que incentivasen la inversión regional.

Trampas de pobreza en presencia de externalidades regionales

Un aspecto relevante en el ámbito de los modelos de crecimiento es la existencia de las denominadas *trampas de pobreza* (Barro y Sala-i-Martin, 1995). Dichas trampas están asociadas con aquella situación en la que existe un estado estacionario estable para bajos niveles de producto p.c. y de capital, de manera que las economías que se encuentren situadas en el entorno de dicho estado estacionario convergerán hacia él.

En este sentido, Murphy *et al* (1989) y Azariadis y Drazen (1990) mostraron como el rendimiento de una inversión llevada a cabo por un agente puede verse sensiblemente afectado por el stock de capital agregado en la economía. De forma similar, la inversión en capital humano por un agente será probablemente tanto más productiva cuanto mayor sea el nivel de capital humano agregado en la economía.

Siguiendo la misma idea, cabría pensar que las externalidades regionales podrían explicar la existencia de *clusters* espaciales de regiones que comparten bajos o elevados niveles de desarrollo, es decir, la existencia de una trampa de pobreza debida a la ubicación geográfica.¹⁵

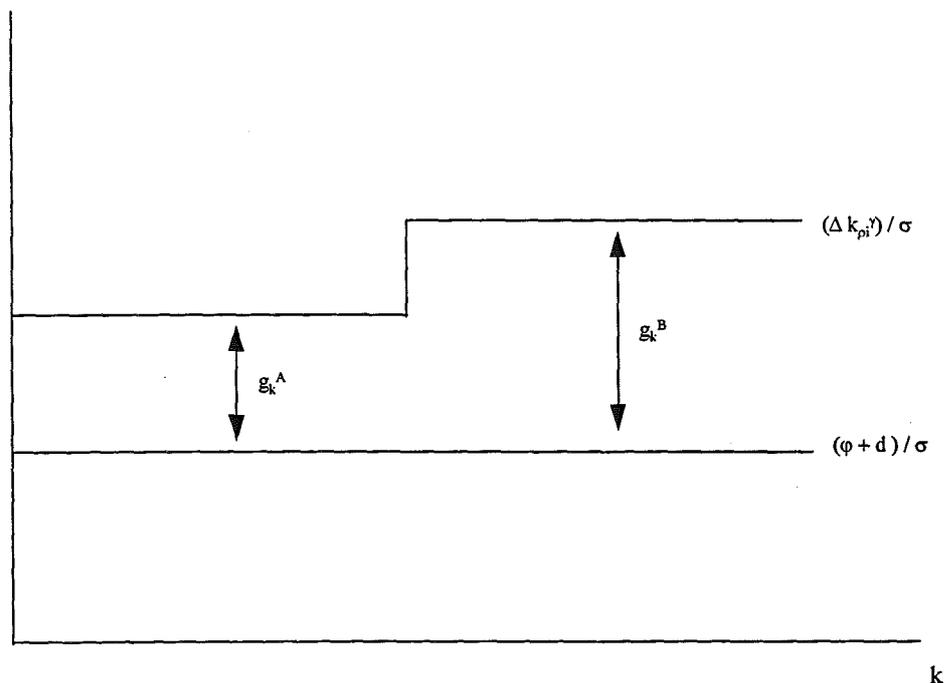
En este sentido, partamos de la existencia de dos grupos diferenciados de economías regionales: el primero, al que llamaremos A, caracterizado por bajos niveles de capital, y el segundo, denominado B, con elevados niveles de k. Así, en relación a la expresión (5.9), tendremos que $g_c^A = g_k^A = g_y^A < g_c^B = g_k^B = g_y^B$, de manera que regiones rodeadas

¹⁵ En este sentido, tanto la heterogeneidad espacial detectada en el producto en el ámbito de las regiones europeas como la persistencia de *clusters* con valores de producto significativamente bajos en el Sur de la UE, detectados ambos en el capítulo 4, podrían estar relacionadas con la existencia de este tipo de trampas de la pobreza vinculadas con la ubicación geográfica.

de otras regiones con una elevada intensidad de capital y un elevado nivel de producto p.c. tenderán hacia un estado estacionario superior (bajo el supuesto de rendimientos decrecientes dentro de cada región) o hacia mayores tasas de crecimiento (bajo el supuesto de crecimiento endógeno).

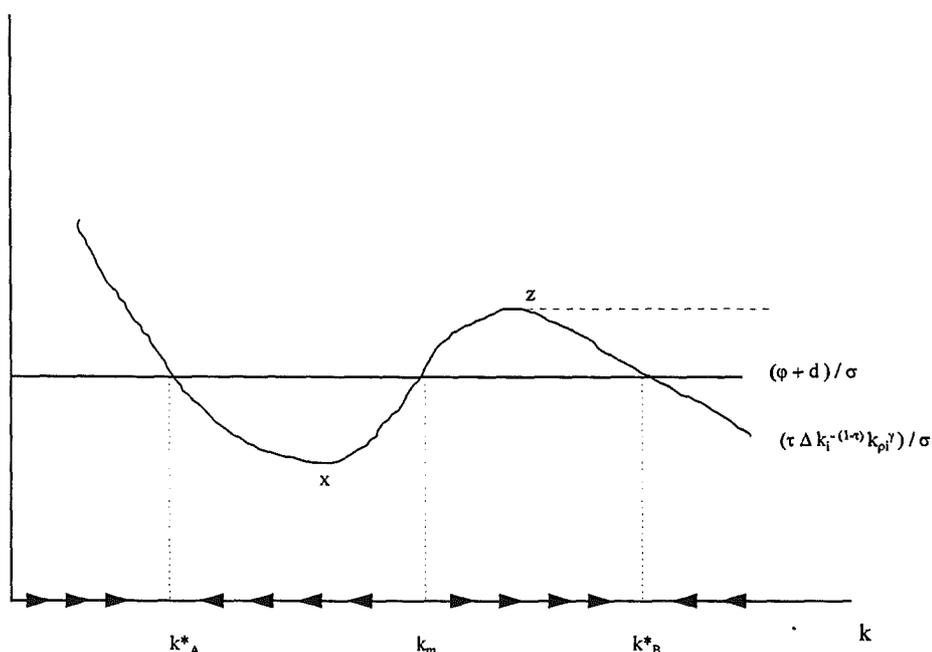
La figura 5.1 describe el ratio de crecimiento de las regiones en cada uno de los dos grupos bajo el supuesto de rendimientos constantes dentro de cada región ($\tau=1$). En este caso, las economías crecerán a una tasa constante en el estado estacionario función del nivel de tecnología común exógena (Δ) y del stock de capital en las regiones vecinas (k_{pi}). En este sentido, dado que $1/\sigma(\Delta k_{pi})^\gamma$ será mayor en B, tendremos que $g_k^A < g_k^B$. Así, las regiones pertenecientes al grupo B crecerán más rápidamente que las regiones en A dado que estarán rodeadas de regiones vecinas con un stock de capital elevado. En este caso, aparecerá una polarización continua entre ambos grupos.

Figura 5.1 Crecimiento en dos grupos de regiones con diferente k , cuando $\tau=1$



La figura 5.2 describe una situación caracterizada por rendimientos decrecientes del factor capital en el interior de cada región, ($\tau < 1$).

Figura 5.2 Crecimiento en dos grupos de regiones con diferente k, cuando $\tau < 1$



Como se puede observar, en las proximidades de k_A^* , los rendimientos decrecientes predominan. Sin embargo, a partir de x la externalidad debido al capital de las regiones vecinas más que compensa los rendimientos decrecientes internos asociados con el capital de cada región, cambiando la orientación de la pendiente de la curva.¹⁶ No obstante, todas aquellas regiones que muestren un stock de capital inferior al nivel umbral denotado por k_m tenderán inexorablemente al más bajo de los estados estacionarios, k_A^* . Por el contrario, aquellas regiones con un stock de capital superior a k_m tenderán hacia un estado estacionario superior representado por k_B^* . Esto último ocurrirá siempre que la externalidad regional (γ) no sea suficientemente importante como para compensar el mecanismo de rendimientos decrecientes que reaparece para valores superiores a un nivel z (línea discontinua). Por el contrario, si el valor de γ es suficientemente elevado como para compensar totalmente los rendimientos decrecientes existentes en el capital, las regiones del grupo B crecerán a una tasa constante. La figura 5.3 resume la evolución del producto p.c. para cada uno de los casos analizados.¹⁷

¹⁶ Según Barro y Sala-i-Martin (1995), una posible explicación del cambio en la pendiente de la curva es que para niveles de desarrollo bajos, las economías estarán básicamente especializadas en el sector agrícola, donde predominan los rendimientos decrecientes. Sin embargo, a medida que la economía se desarrolla, tenderá a especializarse en sectores industriales y de servicios, en los que será posible que aparezcan rendimientos crecientes como consecuencia, entre otros aspectos, de los beneficios derivados del *learning by doing* y de la división del trabajo. Posteriormente, y de forma probablemente temporal, en la economía volverán a predominar los rendimientos decrecientes.

¹⁷ Dicha figura está inspirada en los gráficos elaborados por Durlauf y Quah (1998).

Figura 5.3a. Evolución de y^* en dos grupos de regiones con diferente k cuando $\tau=1$

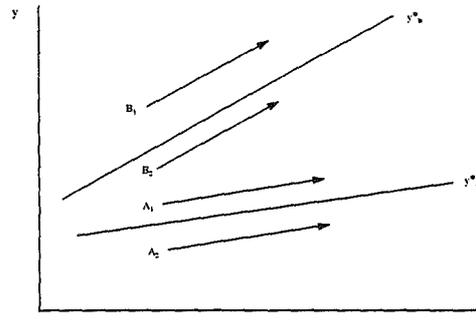


Figura 5.3b. Evolución de y^* en dos grupos de regiones con diferente k cuando $\tau+\gamma<1$

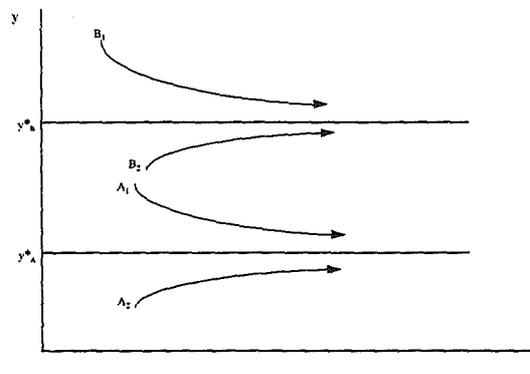
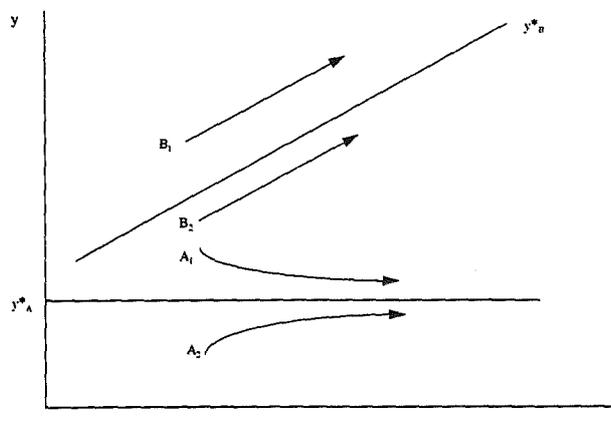


Figura 5.3c. Evolución de y^* en dos grupos de regiones con diferente k cuando $\tau+\gamma<1$ en el grupo A pero $\tau+\gamma=1$ en el grupo B.



Por tanto, como consecuencia de la interdependencia entre regiones vecinas, una situación con dos o más *clusters* espaciales separados podría emerger. Así, un grupo de economías regionales caracterizadas por una baja dotación de factores no sería por tanto capaz de librarse de la atracción gravitacional de sus regiones vecinas, mientras que el otro grupo, caracterizado por elevadas dotaciones de capital, podría incluso mostrar crecimiento sostenido a largo plazo.

No obstante, tras el análisis anterior cabría plantearnos cuales serían las posibilidades mostradas por las regiones “pobres” de abandonar la trampa de pobreza en la que se encuentran sumidos. En cualquier caso, e inspirándonos en la idea del “*big push*” de Murphy *et al* (1989)¹⁸, parece evidente que el esfuerzo individual para salir de la misma será menor siempre que se produzca una inversión simultánea en sus regiones vecinas.

Otro aspecto importante hace referencia a las razones que explican porque la difusión tecnológica no alcanza a todas las regiones y porque pueden aparecer múltiples estados estacionarios asociados con diferentes localizaciones espaciales. En este sentido, y similar al concepto de umbral en las externalidades de Azariadis y Drazen (1990),¹⁹ podría ocurrir que el valor de γ difiriera entre las regiones, de manera que fuese más bajo en el grupo peor situado.²⁰ Otra posibilidad, en línea con las ideas de Leung y Quah (1996) y Quah (1997), estaría relacionada con la emergencia de forma natural de grupos de economías que interactúan entre ellas más que entre economías de otro/s grupo/s. El

¹⁸ Murphy *et al* (1989), siguiendo las ideas de Rosenstein-Rodan (1943), establecen que si varios sectores de una economía adoptan de forma simultánea tecnologías de rendimientos crecientes (inversión coordinada entre sectores), podrían crear ingresos suficientes como para incentivar la existencia de una demanda importante de bienes de otros sectores, ampliando sus mercados y haciendo beneficiosa la industrialización. Ello permitirá que la industrialización aparezca y se autosostenga, aun a pesar de que un único sector, de forma aislada, no pudiese salir de la trampa de desindustrialización en la que se hallase. En este caso, el elemento clave serán los *spillovers* de demanda entre sectores.

¹⁹ En este sentido, Azariadis y Drazen sostienen la posible existencia de múltiples estados estacionarios localmente estables entre economías que tienen acceso a tecnologías similares. Ello se debe a la existencia de externalidades tecnológicas caracterizadas por la presencia de una propiedad de umbral que lleva a que los rendimientos a escala incrementen rápidamente cuando, especialmente, la dotación de capital humano de una economía supere un cierto nivel crítico.

²⁰ Esta idea estaría en la línea del concepto de *spillovers* locales *versus* globales de Englmann y Walz (1995). Asimismo, cabría pensar que las regiones situadas en el entorno de k_A^* en la figura 5.2 podrían presentar una muy escasa “social capability” (Abramowitz, 1986) que cercenaría la capacidad de aquéllas para adaptar las innovaciones procedentes de otras regiones.

resultado sería en este caso la convergencia hacia un estado estacionario similar entre los miembros de un mismo grupo.

Últimas consideraciones

Una vez descrito el sencillo modelo de crecimiento con externalidades regionales, cabría hacer tres consideraciones. En primer lugar, es preciso notar que, si bien se ha supuesto la existencia de interdependencia tecnológica únicamente entre regiones vecinas, el concepto que subyace tras el término de vecindad es amplio, no refiriéndose (al menos exclusivamente) a la vecindad geográfica.

En segundo lugar, cabría destacar que, con el deseo de simplificar al máximo la notación, se ha supuesto que la intensidad de la interdependencia tecnológica no difiere entre las diferentes regiones, es decir, que los *spillovers* tecnológicos se difunden con la misma intensidad entre regiones vecinas. No obstante, cabría pensar que, en función de las características de cada región, el efecto de la acumulación de capital en sus regiones vecinas podría diferir notablemente entre ellas. Así, por ejemplo, Coe y Helpman (1995) obtienen que los efectos de la inversión extranjera directa en I+D sobre el nivel de productividad doméstica son mayores en aquellas economías más abiertas al comercio con el exterior. De esta forma, las economías más pequeñas muestran una mayor elasticidad al stock de capital de I+D extranjero en comparación al mostrado por las más grandes. Asimismo, Kubo (1995), al desarrollar su modelo de crecimiento en un mundo con dos economías, define diferentes parámetros asociados a las economías de escala y a las economías externas para cada una de las dos regiones. Por último, y siguiendo a Rodríguez-Pose (1998), cabría suponer que, aun bajo el supuesto de inexistencia de barreras, las economías podrían diferir en términos de su capacidad para apropiarse y adaptar las innovaciones procedentes de otras economías. Este hecho induciría a pensar que la difusión de la tecnología podría ser mayor entre aquellas economías regionales que presentasen unas mejoras condiciones locales, definidas éstas en términos de características sociales, culturales y económicas.

Por último, cabe mencionar que en el modelo descrito se ha supuesto que la difusión tecnológica se lleva a cabo de forma instantánea, es decir, que las innovaciones fluyen

rápida de una economía a la otra. En este caso, si bien este supuesto podría ser más probable cuando consideramos difusión entre firmas localizadas en una misma región, se convierte en excesivamente restrictivo cuando la difusión implica a firmas pertenecientes a regiones diferentes. Esta última idea estaría en la línea de la apuntada por Grossman y Helpman (1991) en relación a que las barreras físicas y culturales dificultarían la difusión entre firmas localizadas en países diferentes (a diferencia de lo ocurrido entre firmas de un mismo país). De forma similar, Costello (1993) considera que una de las posibles explicaciones de la escasa correlación detectada en el crecimiento de la productividad entre los países a nivel industrial pueden encontrarse en la existencia de retardos temporales en la transmisión de tecnología. Así, Costello (1990) encuentra evidencia a favor de la existencia de transferencia tecnológica pero a frecuencias temporales no tan elevadas como las anuales.

5.3.2 Implicaciones de las externalidades regionales para la convergencia

En el apartado anterior, se ha descrito un modelo teórico de crecimiento con externalidades regionales, analizando cómo dichas externalidades afectarían a la tasa de crecimiento óptima y al estado estacionario de una economía regional. Sin embargo, llegado este punto, el siguiente paso lógico consistiría en estudiar cual debería de ser, en este contexto, la dinámica de transición hacia el estado estacionario de cada región, es decir, cómo la presencia de externalidades regionales afectaría a la convergencia regional. Por ello, en el presente apartado procederemos a derivar la ecuación de convergencia- β asociada al modelo definido anteriormente. Recuperando dicho modelo, vimos que, partiendo de la siguiente función de producción:

$$y_{it} = A_{it}k_{it}^{\alpha} \quad (5.1)$$

se estableció el supuesto de la existencia, primero, de un efecto externo dentro de la propia región asociado con la acumulación de capital y, segundo, de una externalidad regional derivada de la presencia de interdependencia tecnológica. De esta forma, se obtuvo el siguiente modelo final:

$$y_{it} = \Delta_i k_{it}^\tau k_{pit}^\gamma \quad (5.3)$$

donde todas las variables están expresadas en términos de población ocupada.

A partir de aquí, y con el objetivo de derivar la ecuación de convergencia asociada al modelo 5.3, se han establecido tres supuestos:

- Primero, se ha considerado que la tasa de ahorro es exógena e igual a una fracción s del producto. Este supuesto nos permitirá simplificar notablemente el proceso de derivación de la ecuación de convergencia, sin alterar con ello de forma relevante las conclusiones que serían alcanzadas en caso de mantener el supuesto de una tasa de ahorro endógena.
- Segundo, tal y como se pudo extraer del capítulo 3, la posibilidad de derivar la ecuación de convergencia depende del supuesto de existencia de rendimientos decrecientes de los factores acumulables dado que, en cualquier otro caso, el modelo no sería estable, siendo por tanto imposible derivar la senda de equilibrio a largo plazo. Por esta razón, supondremos que, aun a pesar de permitir la existencia de externalidades (intra e interregionales), éstas no son suficientemente elevadas como para conducir a la aparición de crecimiento endógeno.
- Tercero, se ha considerado que la componente Δ además de exógena es constante y común para todas las economías.

Teniendo en cuenta dichos supuestos, podremos expresar la tasa de crecimiento de k_i como:

$$\frac{\dot{k}_i}{k_i} = s\Delta k_i^{-(1-\tau)} k_{pi}^\gamma - (n + d) \quad (5.16)$$

siendo s la tasa de ahorro exógena. A partir de esta expresión, y suponiendo que en el estado estacionario la tasa de crecimiento del capital es 0 y que en el equilibrio el ratio de capital por trabajador se iguala entre regiones (de manera que $k_i^* = k_{pi}^* = k^*$), el stock de capital por trabajador en el equilibrio será:

$$k^* = \left(\frac{s\Delta}{n+d} \right)^{\frac{1}{1-(\tau+\gamma)}} \quad (5.17)$$

y la productividad en el equilibrio:

$$y^* = \Delta^{\frac{1}{1-(\tau+\gamma)}} \left(\frac{s}{n+d} \right)^{\frac{\tau+\gamma}{1-(\tau+\gamma)}} \quad (5.18)$$

Seguidamente, tras log-linealizar la tasa de crecimiento de k , podemos llevar a cabo la expansión de Taylor habitual de la expresión log-linearizada y evaluarla en el estado estacionario, obteniendo el siguiente resultado:

$$\frac{\partial \ln k_{it}}{\partial t} = -(1-\tau)s\Delta e^{-(1-\tau)\ln k_i^*} e^{\gamma \ln k_{pi}^*} (\ln k_{it} - \ln k^*) \quad (5.19)$$

Asimismo, dado que en el estado estacionario la expresión (5.16) se iguala a 0, podemos reescribir (5.19) como:

$$\frac{\partial \ln k_{it}}{\partial t} = -(1-\tau)(n+d)(\ln k_{it} - \ln k^*) \quad (5.20)$$

Llegado este punto, y tras solucionar la ecuación diferencial que aparece en (5.20) y sustraer a ambos lados de la igualdad el valor inicial del $\ln k$ (ver anexo 5.A), se obtiene la siguiente expresión para la dinámica de transición hacia el estado estacionario del stock de capital por trabajador:

$$(\ln k_{it} - \ln k_{i0}) = (1 - e^{-\beta t})(\ln k^* - \ln k_{i0}) \quad (5.21)$$

donde la velocidad de convergencia β será igual a $\beta=(1-\tau)(n+d)$. Finalmente, a partir de (5.21), se puede derivar una expresión similar para el caso de la productividad laboral:

$$(\ln y_{it} - \ln y_{i0}) = \xi - (1 - e^{-\beta t}) \ln y_{i0} + \gamma (\ln k_{pit} - \ln k_{pio}) + \gamma (1 - e^{-\beta t}) \ln k_{pio} \quad (5.22)$$

donde ξ es una constante que recoge el nivel de equilibrio a largo plazo de la productividad laboral,

$$\begin{aligned} \xi &= (1 - e^{-\beta t}) \left[\frac{\tau}{\tau + \gamma} \ln y^* + \frac{\gamma}{\tau + \gamma} \ln \Delta \right] = \\ &= (1 - e^{-\beta t}) \left[\frac{1 - \gamma}{1 - (\tau + \gamma)} \ln \Delta + \frac{\tau}{1 - (\tau + \gamma)} \ln s_k - \frac{\tau}{1 - (\tau + \gamma)} \ln (n + d) \right] \end{aligned} \quad (5.23)$$

A partir de las expresiones (5.22) y (5.23) se puede observar como la consideración en la función de producción de la existencia de una externalidad regional derivada de la presencia de interdependencia tecnológica:

- primero, no tiene un efecto directo sobre la velocidad de convergencia regional β , manteniendo ésta su interpretación habitual en términos de los parámetros estructurales del modelo τ , n y d ;
- segundo, lleva a la aparición en la ecuación de convergencia de dos variables más, la tasa de crecimiento del ratio capital por trabajador en las regiones vecinas a i y el nivel inicial de dicho ratio también en las regiones vecinas. Asimismo, y bajo el supuesto de que $\gamma > 0$, ambas variables estarían contribuyendo positivamente sobre la tasa de crecimiento de la productividad de la región i . De esta forma, la inversión en capital en las regiones vecinas llevaría a incrementar no únicamente su stock de conocimiento sino que, dado el efecto desbordamiento, revertiría positivamente también sobre la tasa de crecimiento de la región i .²¹

²¹ Este resultado estaría en la línea del argumento sostenido por Ravallion y Jalan (1996) basado en la existencia de dos canales, uno interno y otro externo, por los cuales las condiciones iniciales pueden afectar al proceso de crecimiento. Concretamente, el canal interno estaría asociado con el nivel de capital

- finalmente, como se puede extraer de la expresión (5.18), la presencia de difusión tecnológica afecta positivamente al estado estacionario de la productividad en la región i .

Por último, cabe mencionar que la existencia de un efecto externo dentro de la propia región, en la línea de los modelos de Romer y Lucas, aparecería incorporado en el término τ , haciendo menos decrecientes a los rendimientos internos del capital, reduciendo por tanto la velocidad de convergencia regional β .

5.4 Propuesta econométrica para la consideración de las externalidades regionales:

La Econometría Espacial

Dos son las aportaciones básicas del capítulo 5. La primera, ya desarrollada en el apartado anterior, hace referencia a la construcción de un sencillo modelo teórico de crecimiento regional el cual, a diferencia de los modelos de crecimiento habituales, considera la posibilidad de la existencia de externalidades regionales.

La segunda de las aportaciones tiene un contenido marcadamente econométrico y está relacionada con el procedimiento de especificación, contrastación y cuantificación de las citadas externalidades regionales. En este sentido, en el presente capítulo se apuesta a favor de la Econometría Espacial como una vía natural para el tratamiento de las interdependencias entre economías. Teniendo ello en cuenta, en los subapartados siguientes se analizarán brevemente aquellos aspectos relacionados con las técnicas econométricas espaciales que serán utilizadas en los apartados 5.5 y 5.6 cuando se presente y estime el modelo de crecimiento empírico con externalidades regionales.²²

interno de cada agente privado mientras que el canal externo estaría asociado con el stock de capital inicial de su comunidad de residencia. Así, Ravallion y Jalan concluyen en la posibilidad de la coexistencia de divergencia a nivel regional y rendimientos decrecientes del capital privado siempre que exista un fuerte efecto positivo externo derivado del capital de la comunidad sobre el rendimiento de la productividad de la inversión privada.

²² Un estudio más detallado de la técnicas econométricas espaciales puede encontrarse en Vayá (1996).

5.4.1 Efectos espaciales en un modelo de regresión

La Econometría Espacial está centrada en el estudio de los denominados efectos espaciales, dentro de los que se incluye tanto a la dependencia como a la heterogeneidad espacial.

Ambos efectos espaciales pueden estar presentes en el ámbito de un modelo de regresión. Sin embargo, y a diferencia de lo que ocurre cuando está presente un esquema de dependencia espacial, la existencia de heterogeneidad espacial, derivada de la presencia de heteroscedasticidad o de inestabilidad espacial, puede ser subsanada, en la mayoría de las veces, mediante técnicas econométricas estándar que aparecen incorporadas en los paquetes de *software* habituales. Por esta razón, y teniendo en cuenta que el principal interés que motiva el presente capítulo es la consideración explícita de las interdependencias entre unidades muestrales, los siguientes apartados se centrarán únicamente en el estudio del primer efecto espacial señalado. No obstante, para un estudio pormenorizado del concepto de heterogeneidad espacial y de su tratamiento específico nos remitimos, entre otros, a los siguientes trabajos: Casetti (1972, 1997), Griffith (1978, 1988, 1992, 1995), Anselin (1998a, 1988b, 1990), Casetti y Jones (1987), Lauridsen (1996), Casetti y Poon (1995), Duncan *et al* (1995) o LeSage (1995).

5.4.2 La dependencia espacial en un modelo de regresión

En el capítulo 4 se definió el concepto de dependencia o autocorrelación espacial como aquella situación en la que existe una relación funcional entre lo que ocurre en un punto determinado del espacio y lo que ocurre en otro lugar. A su vez, se analizaron los estadísticos espaciales habitualmente utilizados para contrastar su presencia a nivel univariante. No obstante, de igual modo, es posible que el citado efecto espacial esté presente en el contexto de un modelo de regresión, ya sea como consecuencia de la existencia de variables sistemáticas (endógena y/o exógenas) correlacionadas

espacialmente o como consecuencia de la existencia de un esquema de dependencia espacial en el término de perturbación.²³

En cualquiera de los dos casos apuntados, para la inclusión de dicha autocorrelación espacial en un modelo de regresión será necesario recurrir a la matriz de pesos o de contactos W , la cual nos permitirá incorporar fácilmente las influencias mutuas presentes entre las unidades espaciales de la muestra. Así, por ejemplo, en caso de que la variable endógena de un modelo de regresión habitual estuviese correlacionada espacialmente, la solución vendría por especificar un modelo similar al siguiente:

$$y = \rho Wy + X\beta + \mu \quad (5.24)$$

donde y es un vector ($N \times 1$), Wy el retardo espacial de la variable endógena (resultado de multiplicar la matriz W con la variable y), X una matriz de K variables exógenas, μ un término ruido blanco, N el número de observaciones y , por último, ρ el parámetro autorregresivo que recoge la intensidad de las interdependencias entre las observaciones muestrales.

Como se puede observar, el retardo espacial Wy no es sino una combinación lineal ponderada de las observaciones de la variable y en las demás regiones del sistema, donde las ponderaciones vienen determinadas por los pesos w_{ij} de la matriz W . Sin embargo, el término Wy presenta la ventaja adicional de evitar los problemas de identificación y estimación que surgirían al tratar, con insuficientes grados de libertad, de recoger las interrelaciones existentes entre cada región i y sus vecinas de la forma siguiente:

$$y_i = \sum_{j \neq i} \rho_{ji} y_j + \sum_{h=1}^K \beta_h x_{ih} + \mu_i \quad (5.25)$$

De igual forma, como comentamos anteriormente, la autocorrelación espacial podría estar presente en el término de perturbación, de manera que:

²³ Ver Cliff y Ord (1973, 1981), Hordijk, L. y J. Paelink (1976), Paelink y Klaasen (1979), Anselin (1988a) y Anselin y Florax (1995a) entre otros como manuales básicos de referencia.

$$\begin{aligned} y &= X\beta + \varepsilon \\ \varepsilon &= \lambda W\varepsilon + \mu \end{aligned} \tag{5.26}$$

donde μ es un término ruido blanco y λ el parámetro autorregresivo que refleja la intensidad de las interdependencias.

A partir de la expresión (5.24) es fácil observar como, en caso de omitir de forma errónea un retardo espacial de la variable endógena y/o exógenas, la dependencia espacial se trasladaría directamente al término de perturbación, el cual pasaría a estar correlacionado espacialmente. Este tipo de autocorrelación espacial es conocida con el nombre de autocorrelación espacial sustantiva y su solución pasaría por la inclusión en el modelo de un retardo espacial de la variable sistemática correlacionada espacialmente. Por el contrario, cuando la dependencia espacial residual no esté causada por la omisión errónea de un retardo de alguna de las variables sistemáticas, nos hallaremos ante un caso de autocorrelación espacial residual como *nuisance*²⁴. En este caso, la solución supondría la consideración explícita de una esquema de dependencia espacial en el término de error.

5.4.3 Causas y consecuencias de la dependencia espacial

Entre las principales causas que podrían explicar la aparición de dependencia espacial en un modelo de regresión se pueden distinguir las siguientes:

- una incorrecta especificación de la forma funcional del modelo de regresión, altamente probable cuando se utilizan observaciones *cross-section* notablemente heterogéneas entre sí.
- una subespecificación del modelo de regresión como consecuencia de la omisión de variables relevantes que se encuentran correlacionadas espacialmente (ver Kelejian y Robinson, 1992).

²⁴ En adelante, se asimilará el concepto de autocorrelación espacial residual como *nuisance* con el de autocorrelación espacial residual simplemente.

- la existencia de uno o más *outliers*, haciéndose necesario un análisis de *outliers* para poder detectar una agrupación espacial que se corresponda con valores extremos de una determinada variable omitida (ver Nass y Garfinkle, 1992).
- la existencia del denominado *modifiable areal unit problem* (Anselin, 1988a), que lleva a que un proceso inicialmente no autocorrelacionado pueda convertirse en otro donde sí domine la dependencia espacial sin más que modificar el tamaño del área bajo estudio y/o el nivel de agregación. Así, un mismo fenómeno espacial podría ilustrar un sistema esparcido cuando se toma como referencia, por ejemplo, un área metropolitana, y un sistema agrupado cuando ampliamos el tamaño a escala nacional. A su vez, a menor nivel de agregación, es posible encontrar unidades más heterogéneas y seguramente más correlacionadas, al contrario de lo que ocurriría con un nivel de agregación mayor, donde las macrounidades resultantes serían más semejantes entre sí, absorbiendo cualquier proceso autocorrelacionado (Chou, 1991).
- un pobre *matching* o relación entre el fenómeno que se desea analizar y los criterios adoptados para obtener la información estadística relativa a las observaciones muestrales (a veces las fronteras entre estados o regiones son dibujadas de forma totalmente arbitraria, mostrando una escasa correspondencia con el fenómeno que se pretende analizar).²⁵
- la existencia de externalidades y efectos *spillovers* entre las diversas unidades espaciales del sistema escogido.

En relación a las consecuencias derivadas de la omisión de la dependencia espacial en la estimación habitual por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) cabría hacer la distinción entre los dos tipos de autocorrelación antes definidos, esto es, autocorrelación espacial sustantiva y residual.

²⁵ Es decir, existe un problema de la "región pertinente" (Paelink, 1985), es decir, la no coincidencia de la división del espacio óptima y disponible, siendo la primera la que refleja de forma correcta la estructura espacial del fenómeno estudiado.

Por lo que hace referencia a las consecuencias de la presencia de residuos correlacionados espacialmente en la estimación MCO, éstas son similares a las conocidas en el contexto temporal (Hordijk, 1979; Cliff y Ord, 1981; Kramer y Donninger, 1987; Anselin y Griffith, 1988). Así, si bien las estimaciones de los parámetros seguirán siendo insesgadas, sin embargo serán ineficientes dado que la matriz de varianzas y covarianzas del término de perturbación no será esférica. Esto llevará a que la varianza de las estimaciones MCO de β se encuentre sobrestimada en comparación con la obtenida tras aplicar Mínimos Cuadrados Generalizados a la expresión (5.26) (conocido el valor de λ). A su vez, la varianza residual será sesgada y estará subestimada (sobre todo en presencia de autocorrelación positiva), siendo las predicciones MCO ineficientes. Todo ello llevará a que la inferencia basada en los tests de significación de la t-student y en el coeficiente de determinación R^2 sea sesgada. Asimismo, ello afectará a la validación de un número importante de contrastes utilizados para detectar especificaciones erróneas como, por ejemplo, los tests de inestabilidad estructural como el test de Chow, o los tests de heteroscedasticidad²⁶ (ver Anselin 1988a, 1988b y 1990, para una adaptación de los test de Chow y de Breusch-Pagan en presencia de dependencia espacial residual).

Por el contrario, aunque las consecuencias de la presencia de residuos autocorrelacionados espacialmente no difieren de forma importante de lo que ocurre en el contexto temporal, la presencia de un retardo espacial de la variable endógena conlleva consecuencias más graves de las que se darían a nivel temporal. Así, si bien la inclusión de un retardo temporal de la variable endógena no implica la inconsistencia de la estimación MCO (aunque sí la sesgidez) salvo cuando el término de perturbación muestre una estructura correlacionada temporalmente (Novales, 1993), en el contexto espacial las estimaciones MCO del modelo descrito en (5.24) serán sesgadas e inconsistentes (aún cuando el término de perturbación no esté correlacionado espacialmente). Asimismo, la omisión errónea de un retardo espacial de la variable endógena (y/o exógenas) llevará a la inconsistencia de la estimación MCO del aquel modelo que no incorpore el esquema de dependencia espacial sustantiva apropiado.

²⁶ Anselin (1987) demuestra como el incumplimiento de la hipótesis de independencia en el término de perturbación lleva a que la frecuencia de rechazo empírica del test de Glejser y el de Breusch y Pagan sobrepase de forma importante sus correspondientes niveles de significación nominales, al contrario de lo que ocurre con el test de White. Resultados similares son obtenidos por Anselin (1990) para el test de Chow.

5.4.4 Especificación de la dependencia espacial en un modelo de regresión

A partir de las sencillas especificaciones esbozadas en las expresiones (5.24) y (5.26), cabe destacar que la especificación más general para un modelo espacial se corresponde con el *Modelo mixto regresivo-espacial regresivo con perturbaciones autorregresivas y heteroscedásticas* (Anselin 1988b, Florax y Folmer 1992):

$$\begin{aligned} y &= \rho W_1 y + X\beta_1 + W_2 R\beta_2 + \varepsilon \\ \varepsilon &= \lambda W_3 \varepsilon + \mu \\ \mu &\sim N(0, \Omega); \quad \Omega_{ii} = h_i(Z\alpha) \quad h_i > 0 \end{aligned} \tag{5.27}$$

donde y es el vector ($N \times 1$) correspondiente a la variable endógena, X una matriz ($N \times K_1$) de variables exógenas y R la matriz ($N \times K_2$) de variables exógenas que serán retardadas espacialmente (las cuales pueden coincidir o no con aquéllas incluidas en la matriz X). Por otra parte, ε incorpora una estructura de dependencia espacial autorregresiva especificada mediante un esquema de Markov de primer orden.²⁷ A su vez, se ha considerado a μ como un vector distribuido normalmente, con una matriz de varianzas y covarianzas diagonal pero heteroscedástico (los elementos de su diagonal principal estarán en función de $P+1$ variables exógenas Z). Por último, ρ es el coeficiente de la variable dependiente retardada espacialmente, λ el coeficiente en la estructura autorregresiva espacial para ε , β_1 y β_2 los vectores de dimensiones ($K_1 \times 1$) y ($K_2 \times 1$) asociados a las variables exógenas y exógenas retardadas respectivamente, mientras que α es el vector $P \times 1$ asociado con los términos no constantes de Z .

En relación a los diferentes subíndices incorporados para las matrices de contacto, nuevamente no existe consenso en torno a la especificación más adecuada de cada una de ellas. En este sentido, Arora y Brown (1977) al igual que Hordijk (1979), proponen utilizar una matriz neutral, de contigüidad binaria, para el término de perturbación. En

²⁷La anterior estructura autorregresiva de orden 1 podría ser substituida, tal y como apuntan Bartels y Hordijk (1977), por una estructura autorregresiva de orden superior o por una estructura media móvil espacial (MA, para conseguir una analogía con la metodología Box-Jenkins). Sin embargo, dado que la mayoría de los resultados de las estimaciones y contrastes derivados de la estructura MA pueden obtenerse de una especificación autorregresiva, es habitual escoger esta última.

cambio, cuando la matriz de contactos debe ser incluida en la especificación funcional del modelo econométrico espacial, como ocurre con W_1 y W_2 , tanto Hordijk (1979) como Anselin (1980) establecen la necesidad de utilizar una matriz más relacionada con el concepto de accesibilidad propio de la teoría de la interacción espacial, evitando así conclusiones falsas o espurias. Esta restricción puede relajarse cuando la matriz W ha de utilizarse en la construcción de hipótesis (Anselin, 1988a) ya que, en este caso, se está contrastando únicamente la escasez de independencia entre los términos de perturbación y no un tipo particular de dependencia (sí bien para maximizar el poder del test debería escogerse una W relacionada con la hipótesis alternativa propuesta). En cualquier caso, es preciso tener en cuenta que una especificación errónea de la citada matriz de contactos puede tener importantes consecuencias sobre el modelo de regresión estimado (para un estudio de las consecuencias derivadas por una sub o sobre-especificación de la matriz de contactos, ver Florax y Rey, 1995²⁸).

Una vez analizada la especificación más general para un modelo espacial, es posible derivar otras especificaciones más sencillas sin más que ir incorporando sucesivas restricciones, obteniendo los siguientes modelos anidados al primero:

Modelo mixto regresivo-espacial autorregresivo

$$\begin{aligned} y &= \rho W_1 y + X\beta_1 + \mu \\ \mu &\sim N(0, \sigma^2 I) \end{aligned} \quad (5.28)$$

Modelo de regresión lineal con perturbaciones espaciales autorregresivas

$$\begin{aligned} y &= X\beta_1 + \varepsilon \\ \varepsilon &= \lambda W\varepsilon + \mu \\ \mu &\sim N(0, \sigma^2 I) \end{aligned} \quad (5.29)$$

²⁸ Florax y Rey (1995) obtienen, tras un ejercicio de simulación, que tanto la I de Moran, como los contrastes LM-ERR y LM-LAG se ven afectados de forma importante por una especificación errónea de W . Sin embargo, admiten que no es posible derivar regularidades empíricas que pudieran ayudarnos en el proceso de discriminación de modelos.

*Modelo mixto regresivo-espacial autorregresivo con perturbaciones espaciales autorregresivas*²⁹

$$\begin{aligned}y &= \rho W_1 y + X\beta_1 + \varepsilon \\ \varepsilon &= \lambda W_2 \varepsilon + \mu \\ \mu &\sim N(0, \sigma^2 I)\end{aligned}\tag{5.30}$$

Modelo mixto regresivo-espacial regresivo

$$\begin{aligned}y &= \rho W_1 y + X\beta_1 + W_2 R\beta_2 + \mu \\ \mu &\sim N(0, \sigma^2 I)\end{aligned}\tag{5.31}$$

Modelo mixto regresivo-espacial crossregresivo

$$\begin{aligned}y &= X\beta_1 + W_1 R\beta_2 + \mu \\ \mu &\sim N(0, \sigma^2 I)\end{aligned}\tag{5.32}$$

5.4.5 Contrastes de dependencia espacial en un modelo de regresión lineal

Recuperando la distinción efectuada en el apartado 5.4.3 entre autocorrelación espacial sustantiva y autocorrelación espacial residual (como *nuisance*), existe una amplia batería de estadísticos espaciales para contrastar las anteriores estructuras (ver Anselin 1988a, 1988b, 1994; Anselin y Florax, 1995b o Anselin *et al*, 1996, para un análisis detallado de los contrastes de dependencia espacial desarrollados en el ámbito de la Econometría Espacial).

En concreto, y partiendo del siguiente modelo de regresión lineal

$$y = X\beta + \mu\tag{5.33}$$

²⁹ En este caso concreto es preciso tener en cuenta que las matrices W_1 y W_2 no deberán de coincidir para evitar problemas de identificación en la estimación máximo-verosímil (Anselin, 1988a). Una solución pasa por definir un modelo SARMA, donde las perturbaciones sigan un esquema de dependencia espacial media móvil.

la existencia de autocorrelación espacial residual es habitualmente contrastada mediante los siguientes cuatro estadísticos:

- I de Moran (Cliff y Ord, 1972)

$$I = \frac{N}{S} \frac{e' We}{e'e} \quad (5.34)$$

donde e es el vector de residuos MCO de un modelo de regresión lineal como el especificado en (5.33), N el tamaño muestral y S la suma de todos los elementos w_{ij} de la matriz de contactos. Tras su estandarización, la I de Moran se distribuirá según una normal $N(0,1)$.

- El test LM-ERR (Burridge, 1980)

$$LM - ERR = \frac{\left[\frac{e' We}{s^2} \right]^2}{T_1} \quad (5.35)$$

donde e es nuevamente el vector de residuos MCO de la regresión (5.33), $T_1 = \text{traza}(W'W + W^2)$ y s^2 la estimación de la varianza residual de dicho modelo.³⁰ En concreto, y a diferencia del anterior contraste, el test LM-ERR se distribuye según una χ^2 con un grado de libertad.³¹

³⁰ El test LM-ERR puede también ser expresado en términos del contraste I de Moran como

$$LM - ERR = \frac{(NI)^2}{T}$$

³¹ De forma similar, Anselin (1994) construye un test LM-ERR denominado LM-ERR(2) el cual permite contrastar la existencia de un esquema autorregresivo de segundo orden en el término de perturbación. Asimismo, Anselin (1988a, 1994) define el contraste multidireccional SARMA, válido para detectar la existencia de un retardo espacial de la variable endógena y de una estructura media móvil espacial en el término de perturbación.

- El test LM-EL (Bera y Yoon, 1992)

$$LM - EL = \frac{\left[e' We / s^2 - T_1 (RJ_{\rho-\beta})^{-1} e' Wy / s^2 \right]^2}{\left[T_1 - T_1^2 (RJ_{\rho-\beta})^{-1} \right]} \quad (5.36)$$

donde M es la matriz idempotente, $M=I-X(X'X)^{-1}X'$ y $RJ_{\rho-\beta}=[T_1+(WX\beta)'M(WX\beta)/s^2]^{-1}$. De igual forma que en el caso anterior, el test LM-EL se distribuye según una χ^2 con un grado de libertad. En concreto, si bien el estadístico LM-EL es similar al definido en (5.35), éste presenta la ventaja adicional de ser robusto ante posibles especificaciones erróneas locales como la presencia de una variable endógena retardada espacialmente.

- El test de Kelejian y Robinson, K-R (Kelejian y Robinson, 1992)

$$K - R = \frac{\gamma' Z' Z \gamma}{\alpha' \alpha / h_N} \quad (5.37)$$

donde $\gamma=(Z'Z)^{-1}Z'C$, C es el producto cruzado de los residuos potencialmente correlacionados ($C_h=e_i e_j$) siendo h el índice para cada producto cruzado, Z es la matriz que contiene los productos cruzados de X_i y X_j , α es el cuadrado de la varianza residual estimada para una regresión auxiliar en la que la variable dependiente es C y las variables explicativas Z, y, por último, h_N es el número total de observaciones en la citada regresión auxiliar. El test K-R se distribuye según una χ^2 con K grados de libertad, siendo K el número de variables en Z.

En concreto, todos ellos comparten una misma hipótesis nula, la ausencia de dependencia espacial en el término de perturbación ($H_0:\lambda=0$ en el modelo 5.29). Sin embargo, si bien los estadísticos LM-ERR y LM-EL presentan una hipótesis alternativa específica,³² esto es, la existencia de un esquema autorregresivo de primer orden en el término de perturbación (modelo definido en 5.29), el contraste de I de Moran no tiene una hipótesis

³² En Anselin (1988a, 1988b, 1990) se presenta un test LM para la contrastación de la autocorrelación espacial residual en presencia de heteroscedasticidad.

alternativa claramente definida.³³ Esto lleva a que dicho estadístico presente un escaso poder para discriminar entre la existencia de un esquema de autocorrelación espacial residual o sustantiva.

Asimismo, cabe notar que los tests LM-ERR y LM-EL están basados en el contraste de Multiplicadores de Lagrange (*Lagrange Multiplier*, LM) obtenido a partir de la estimación máximo-verosímil del modelo bajo la hipótesis nula correspondiente. En este sentido, si bien podrían derivarse de forma similar contrastes de autocorrelación espacial basados en los tests de Wald o de Razón de Verosimilitud (Cliff y Ord, 1973 y 1981; Brandsman y Ketellapper, 1979; Anselin, 1980; Upton y Fingleton, 1985), el requerimiento en estos últimos de la compleja estimación del modelo bajo la hipótesis alternativa dota a los contrastes LM de una importante ventaja, justificando así su mayor utilización.

Por último, es preciso destacar que tanto la I de Moran como los dos estadísticos basados en el principio de Multiplicadores de Lagrange presentan propiedades asintóticas, pudiendo dar problemas en muestras finitas. Asimismo, los tres primeros estadísticos requieren de la normalidad del término de perturbación, mostrando un bajo poder en caso de que dicha normalidad no se cumpla.³⁴ En relación a este último aspecto, si bien es cierto que el estadístico K-R presenta la ventaja de que ni necesita que el término de perturbación sea normal, ni que el modelo sea lineal, ni requiere de una especificación *a priori* de la matriz W, dicho estadístico presenta un muy escaso poder en muestras finitas.

Por otra parte, cuando se desea contrastar la existencia de un esquema de dependencia espacial sustantiva, dos son los estadísticos definidos: el test LM-LAG y el test LM-LE.

³³ Anselin (1997) propone un nuevo contraste de autocorrelación, el RAO'score test, el cual, si bien se asemeja a la I de Moran en que únicamente necesita de la estimación mínimo-cuadrática de la regresión, sin embargo, presenta la ventaja adicional sobre la anterior de que sí tiene una hipótesis alternativa bien definida, permitiendo discriminar entre un retardo espacial de la variable endógena o un esquema de autocorrelación espacial residual.

³⁴ Asimismo, los estadísticos LM-ERR y LM-EL requieren de un modelo lineal.

- El test LM-LAG (Anselin, 1988b)

$$LM - LAG = \frac{\left[\frac{e'Wy}{s^2} \right]^2}{RJ_{\rho-\beta}} \quad (5.38)$$

donde nuevamente e es el vector de residuos MCO del modelo (5.33), manteniéndose el significado en el resto de elementos. El test LM-LAG se distribuye según una χ^2 con un grado de libertad.

- El test LM-LE (Bera y Yoon, 1992)

$$LM - LE = \frac{\left[\frac{e'Wy}{s^2} - \frac{e'We}{s^2} \right]^2}{RJ_{\rho-\beta} - T_1} \quad (5.39)$$

manteniéndose el mismo significado en los elementos que en todos los casos anteriores y distribuyéndose según una χ^2 con un grado de libertad.

En ambos casos, la hipótesis alternativa se correspondería con el modelo definido en (5.28) como:

$$y = \rho W_1 y + X\beta_1 + \mu$$

$$\mu \sim N(0, \sigma^2 I)$$

es decir, $H_A: \rho \neq 0$ frente a la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$. Asimismo, y de forma similar a lo ocurrido en el caso del contraste LM-EL, el test LM-LE presenta la ventaja adicional respecto del test LM-LAG de ser robusto ante posibles especificaciones erróneas locales, como la existencia de un término de perturbación correlacionado espacialmente.

De igual forma que en el caso de los estadísticos LM-ERR y LM-EL, los tests LM-LAG y LM-LE están basados en el principio de Multiplicadores de Lagrange, mostrando por tanto propiedades asintóticas y requiriendo de la linealidad del modelo estimado y de la normalidad del término de perturbación.

Por otra parte, es preciso destacar que, tal y como obtienen Anselin y Rey (1991) y Anselin y Florax (1995b), los tests para detectar retardos espaciales de la variable

endógena (LM-LAG) presentan un poder más elevado en muestras finitas en relación al poder³⁵ mostrado por los tests para detectar una estructura de dependencia espacial en el error (LM-ERR). Este resultado es especialmente relevante si se tienen en cuenta las consecuencias más graves de la omisión de un retardo espacial significativo de la variable endógena en comparación a las derivadas de la presencia de un esquema autorregresivo en el término de perturbación.³⁶

5.4.6 Estimación en presencia de dependencia espacial

Como se ha podido observar en el apartado 5.4.3, las consecuencias de omitir incorrectamente un esquema de dependencia espacial en un modelo de regresión no son en absoluto despreciables: ineficiencia de la estimación MCO cuando existe autocorrelación espacial residual o inconsistencia de dicha estimación si la variable dependiente se muestra correlacionada espacialmente. Por esta razón, tal y como define Hordijk (1979), no únicamente se hace imprescindible la contrastación de la presencia de dependencia espacial y la reespecificación correspondiente del modelo de regresión caso de ser necesario, sino también la modificación de los métodos de estimación habituales. En este sentido, el método de estimación más ampliamente utilizado en el contexto de los modelos espaciales es la estimación Máximo-Verosímil (MV).

En relación a este último punto, cabe decir que, de idéntica forma que en el contexto temporal, los estimadores máximo-verosímiles deberán de ser obtenidos a partir de la maximización del logaritmo de la función de verosimilitud asociada al modelo espacial especificado. En concreto, el modelo más general definido en la expresión (5.27) tendrá asociada la siguiente función de verosimilitud (expresada en logaritmos):

³⁵ En este sentido, en los trabajos de Anselin y Griffith (1988), Mur (1990, 1992), Anselin y Rey (1991), Florax y Folmer (1991, 1992, 1994), Anselin y Florax (1995b), Anselin *et al* (1996) y Florax y Rey (1995) se puede encontrar un estudio en profundidad de las propiedades de los contrastes antes descritos, especialmente en relación a su poder en muestras finitas.

³⁶ En Anselin (1998a, 1990) se analizan los contrastes de dependencia espacial en presencia de heteroscedasticidad. Por otra parte, Kelejian y Robinson (1998) sugieren la utilización de un nuevo estadístico, denominado KR-SPHET, válido para contrastar la ausencia de autocorrelación espacial y/o heteroscedasticidad en el término de error. Tras un ejercicio de simulación concluyen en el mayor poder de dicho contraste sobre estadísticos como I de Moran y aquéllos basados en el principio de Multiplicadores de Lagrange cuando la heteroscedasticidad es importante y la dependencia espacial es leve.

$$\ln L(\theta) = -\frac{N}{2} \ln 2\pi - \frac{1}{2} \ln |\Omega| + \ln |B| + \ln |A| - \frac{1}{2} v'v \quad (5.40)$$

donde $\theta = [\rho, \beta', \lambda, \sigma^2, \alpha']$, $A = (I - \rho W)$, $B = (I - \lambda W)$, Ω es la matriz de varianzas y covarianzas del término de perturbación y $v'v = (Ay - X\beta)' B' \Omega^{-1} B (Ay - X\beta)$.

A partir de la expresión (5.40), los estimadores MV podrán ser obtenidos igualando a 0 el vector de derivadas parciales de (5.40) respecto a θ . En este caso, si bien no se desarrollará el proceso de derivación de dichos estimadores (remitiéndonos a Anselin, 1988a, para un análisis exhaustivo), es necesario destacar que el sistema resultante de primeras derivadas es altamente no lineal. Para solucionarlo, será preciso recurrir a métodos numéricos dada la imposibilidad de disponer de una solución analítica válida. No obstante, esta dificultad se ve reducida cuando se imponen determinadas restricciones en el modelo general, pasando a trabajar con modelos más sencillos como los definidos en (5.28) y (5.29). En este caso, la solución al problema de la no linealidad viene de la mano de una función de verosimilitud concentrada, la cual será lineal para todos los parámetros menos uno.³⁷

No obstante, es preciso destacar que, si bien el método de estimación MV es el más ampliamente utilizado, esta técnica presenta algunas complicaciones derivadas tanto de la necesidad ya mencionada de recurrir a métodos numéricos para resolver los procesos de optimización no lineales como de sus propiedades asintóticas y de las restricciones impuestas sobre el valor de los parámetros autorregresivos.³⁸ Por todo ello, han sido propuestos por la literatura tres métodos de estimación alternativos: la estimación por variables instrumentales (Haining, 1978; Bivand, 1984; Anselin, 1988a), la estimación bayesiana (Anselin, 1982, 1988a; LeSage, 1995 y 1997) y, por último, métodos de

³⁷ En concreto, notaremos como ML-LAG a la estimación máximo-verosímil del modelo que incorpora únicamente un retardo espacial de la variable endógena (expresión 5.28) y como ML-ERR a la estimación máximo-verosímil del modelo con perturbaciones autorregresivas (expresión 5.29).

³⁸ Tal y como aparece en Anselin (1988a) y en relación a la función de verosimilitud definida en (5.40) para el modelo general, será necesario que los determinantes para las matrices A y B sean positivos, cumpliendo así las condiciones de regularidad de la función de verosimilitud. Para ello, y en el caso de matrices de contactos estandarizadas, será necesario que tanto λ como ρ se encuentren dentro del intervalo definido por $-1/\pi_{\max(-)}$ y 1, donde $\pi_{\max(-)}$ es la raíz característica negativa de W con mayor valor absoluto.

estimación robustos basados en técnicas de remuestreo como el *Bootstrap* o el *Jackknife* (Anselin, 1988a). No obstante, en la medida en la que en el presente capítulo únicamente se hace uso del método de estimación máximo-verosímil, nos remitimos a las referencias citadas para un estudio más exhaustivo de los otros métodos citados.

5.4.7 Criterios de selección en el contexto espacial

Uno de los criterios básicos que determinan la bondad del ajuste realizado en un modelo de regresión es el coeficiente de determinación R^2 . Sin embargo, son muchos los instrumentos utilizados en Econometría estándar que no son directamente aplicables en aquellos modelos en los que esté presente algún efecto espacial, siendo el coeficiente de determinación un claro ejemplo. En concreto, y en caso de especificar un modelo espacial que muestre dependencia espacial residual (matriz de varianzas y covarianzas del error no esférica) y de reestimarlos por métodos diferentes a la estimación mínimo cuadrática ordinaria, el valor de la R^2 podría alcanzar valores absurdos como consecuencia de la pérdida de validez de la descomposición de la varianza total en varianza explicada y residual (en la medida en la que posiblemente no se cumpla que $\Sigma e=0$). En este caso, el R^2 no sería una medida correcta de la bondad del ajuste. Son dos las posibles soluciones: crear un pseudo- R^2 , utilizando tanto los valores predichos como los residuos ponderados, o calcular la correlación al cuadrado entre los valores de la variable dependiente predichos y los observados, medida que tomará algún valor dentro del intervalo $[0,1]$. De forma similar, el coeficiente de determinación no servirá de valor de referencia para medir la bondad del ajuste cuando esté presente en el modelo analizado un retardo de la variable endógena y se utilice una estimación por máxima-verosimilitud (no obstante, este problema no se producirá si se estima por Variables Instrumentales ya que, en este caso, $\Sigma e=0$). Dos serán las opciones posibles ante esta situación: utilizar un pseudo- R^2 , calculado como la correlación al cuadrado entre los valores predichos y los observados de la variable endógena, o llevar a cabo una comparación del logaritmo de la función de verosimilitud³⁹ (Anselin, 1988a).

³⁹ Aplicable también en caso de existir autocorrelación espacial residual.

No obstante, no son éstos los únicos criterios para valorar la bondad del ajuste. Por ejemplo, el cálculo del EPAM (Error Porcentual Absoluto Medio), del ECM (Error Cuadrático Medio) o del EAM (Error Absoluto Medio) son vías alternativas utilizadas en un modelo de regresión. Sin embargo, como ocurre con la R^2 , su traslación al contexto específico espacial de forma automática puede presentar problemas y llevarnos a conclusiones erróneas.

Otras medidas de selección de modelos, susceptibles de ser utilizadas en el contexto espacial, son aquéllas basadas en criterios de información como el *Akaike Information Criterion (AIC)*, el cual penaliza aquellas especificaciones que contengan mayor número de parámetros y que muestren una menor precisión en sus estimaciones, es decir, una menor verosimilitud (queda reflejado, de esta forma, el *trade-off* entre ajuste y parsimonia). Este criterio puede ser, a diferencia del caso anterior, directamente aplicable a un modelo que presente dependencia espacial, dado que la función de verosimilitud ya incorpora dichos efectos.

5.4.8 Estrategias para la selección final del modelo espacial

Llegado a este punto, cabe destacar dos aspectos importantes. Primero, si bien en el apartado 5.4.5 se ha presentado una batería de tests tanto para contrastar la significación de un retardo espacial de la variable endógena como la presencia de un esquema autorregresivo en el término de perturbación, no se ha analizado el proceso de contrastación de retardos espaciales de las variables exógenas del modelo. Asimismo, en los apartados anteriores no se han establecido los pasos a seguir para poder seleccionar el modelo que mejor recoja el esquema de dependencia espacial presente.

Para poder solucionar ambas cuestiones nos remitimos al método de expansión espacial de variables desarrollado por Florax (1992) y Folmer y Florax (1990, 1992), el cual fue ideado con la finalidad de tratar de corregir la existencia de dependencia espacial mediante la inclusión de un conjunto de retardos espaciales de las variables explicativas omitidos erróneamente. En concreto, los citados autores proponen tres estrategias diferentes asociadas con tres tipos diferentes de métodos de expansión espacial de variables: el

denominado *Limited Spatial Variable Expansion* (LSVE), el método *Spatial Variable Expansion 1* (SVE1) y, por último, el método *Spatial Variable Expansion 2* (SVE2). Seguidamente se analizan brevemente los métodos citados.

- *Limited spatial variable expansion* (LSVE)

En este caso, tal y como expone Florax (1992), únicamente se contrasta la significación de un retardo espacial de la variable endógena. En concreto, los pasos que deberían seguirse son los siguientes:

1º) Estimación MCO del modelo de regresión lineal habitual, $y = X\beta + \mu$

2º) Cómputo de los tests LM-ERR y LM-LAG, aplicándolos a los residuos MCO del modelo estimado en 1º).

3º) Si ninguno de los estadísticos rechazan sus hipótesis nulas correspondientes, el modelo correcto será el estimado en 1º).

4º) Si únicamente el test LM-ERR rechaza su hipótesis nula mientras que el test LM-LAG no lo hace o si ambos rechazan la hipótesis nula pero la probabilidad correspondiente al test LM-ERR es inferior al del LM-LAG, el modelo con un esquema autorregresivo en el término de error será el correcto (expresión 5.29), debiéndolo estimar por máxima-verosimilitud (ML-ERR).

5º) Si únicamente el test LM-LAG rechaza su hipótesis nula mientras que el test LM-ERR no lo hace, o si ambos rechazan la hipótesis nula pero la probabilidad correspondiente al test LM-LAG es inferior al del LM-ERR, el modelo con un retardo espacial de la variable endógena será el correcto (expresión 5.28), habiendo de ser estimado por máxima-verosimilitud (ML-LAG).

- *Spatial variable expansion 1 (SVE1)*

A diferencia del caso anterior, esta segunda estrategia contempla la posibilidad de que existan retardos espaciales de las variables exógenas. Sintéticamente, los pasos que deberán de seguirse serán:

1º) Estimación del modelo inicial $y = X\beta + \mu$ por MCO.

2º) Selección de un conjunto S de variables sistemáticas para las cuales la inclusión de un retardo espacial tenga un sentido teórico.

3º) Expandir el modelo inicial, incluyendo sucesivamente dichas variables retardadas, estimando el modelo resultante: $y = X\beta + \gamma_{i,g} W_g z_i + \mu \quad \forall i, g$, donde z_i forma parte del conjunto S definido en 2º).⁴⁰

4º) Contrastar la significación de los retardos espaciales incluidos mediante un test de la F.⁴¹

5º) Seleccionar seguidamente aquellas variables que sean significativas. Incluir en el modelo aquéllas que tengan una menor probabilidad.

6º) Una vez seleccionado el mejor modelo de entre los estimados en el paso anterior, se deberá de contrastar la existencia de autocorrelación espacial residual mediante el contraste de la I de Moran. Si dicho test rechaza la hipótesis nula, un modelo con perturbaciones autorregresivas deberá de ser estimado por máxima-verosimilitud.

⁴⁰ En caso de que únicamente se hubiera expandido el modelo con retardos espaciales de las variables exógenas, la estimación MCO seguiría siendo adecuada. Por el contrario, si se hubiera incluido también un retardo de la variable endógena, la estimación máximo-verosímil sería la alternativa correcta.

⁴¹ No obstante, en caso que dentro del conjunto S se hubiera considerado también un retardo de la variable endógena, un test de Razón de Verosimilitud sería el más adecuado para contrastar la significación de dichas variables retardadas.

- Spatial variable expansion 2 (SVE2)

Esta tercera estrategia consiste en los siguientes pasos:

1º) Estimar el modelo $y = X\beta + \mu$ mediante MCO.

2º) Selección de un conjunto S de variables sistemáticas para las cuales la inclusión de un retardo espacial tenga un sentido teórico.

3º) Contrastar la hipótesis de no autocorrelación espacial residual ni sustantiva mediante los tests LM-ERR y LM-LAG.⁴²

4º) En el caso de que ambos tests aceptaran sus correspondientes hipótesis nulas, se debería de contrastar la significación de los retardos espaciales de las variables exógenas incluidas en el conjunto S. Seguidamente, se deberán incluir todas aquellas variables retardadas espacialmente que sean significativas y que muestren una menor probabilidad.

5º) Si únicamente el test LM-ERR es significativo o bien ambos tests rechazan su hipótesis nula correspondiente pero la probabilidad del primero es inferior a la del test LM-LAG, el modelo seleccionado finalmente será aquél que presente un esquema autorregresivo en el término de perturbación, teniendo que ser estimado por ML-ERR.

6º) Si únicamente el test LM-LAG es significativo o bien ambos tests rechazan su hipótesis nula correspondiente pero la probabilidad del primero es inferior a la del test LM-ERR, se deberá de incluir un retardo espacial de la variable endógena al modelo inicial especificado en 1º), estimándolo por máxima-verosimilitud (ML-LAG). Seguidamente, se deberá de ir expandiendo sucesivamente el modelo

⁴² A diferencia de la estrategia SVE1, no se computa el estadístico I de Moran sino los estadísticos basados en el principio de los Multiplicadores de Lagrange.

mediante las variables exógenas retardadas definidas en el paso 2º), contrastando su significación mediante el test de Razón de verosimilitud.

Llegado este punto es necesario destacar que no existe evidencia clara que lleve a preferir un procedimiento al otro, revelándose una estrategia como mejor respecto de las otras dependiendo de la forma en que la dependencia esté incluida en el modelo.⁴³ No obstante, en algunas ocasiones, el procedimiento de expansión espacial de variables no acaba por detectar el modelo correcto,⁴⁴ siendo los resultados obtenidos altamente dependientes tanto del tamaño de la muestra como de la especificación escogida para la matriz de contactos.

Por último, es necesario destacar tres aspectos. Primero, como se ha podido constatar, el método de expansión espacial de variables se aleja del procedimiento clásico de selección de modelos, basado en la estimación de un modelo inicial lo más general posible y la eliminación posterior de las variables no significativas o que presentan un signo no correcto. Por el contrario, en el método de expansión espacial de variables se sigue el procedimiento inverso, partiendo de un modelo sencillo para pasar a un modelo más general en caso de ser necesario. Con ello se reduce, al menos al principio, el problema de la multicolinealidad, priorizando, por tanto, el principio de parsimonia.

El segundo aspecto que cabe destacar hace referencia a los test robustos LM-LE y LM-EL. Como se ha podido observar, dichos tests no son considerados en las estrategias definidas dado que no habían aparecido todavía en la literatura cuando el método de expansión fue propuesto. A pesar de ello, en los apartados empíricos del presente capítulo, se alterarán ligeramente las estrategias definidas, computando también los citados tests robustos con el objetivo de que nos sirvan de ayuda durante el proceso de selección entre un modelo

⁴³ Florax (1992) y Florax y Folmer (1992) realizan un ejercicio de simulación donde, para diferentes modelos generados, comparan el poder para detectar el modelo correcto en muestras finitas de la I de Moran, de los test LM-ERR y LM-LAG y, por último, de las tres estrategias definidas basadas en el método de expansión espacial de variables. El ejercicio realizado les sirvió a los citados autores para confirmar las dudas que inicialmente tenían acerca del poder de los tests de dependencia espacial habitualmente analizados (I de Moran, LM-ERR y LM-LAG) ante la presencia de retardos espaciales de las variables explicativas.

⁴⁴ En este sentido, será siempre preferible incluir variables no significativas que omitir incorrectamente, por ejemplo, un retardo espacial de la variable endógena (dando lugar, en este último caso, a estimaciones MCO sesgadas e inconsistentes).

con perturbaciones autorregresivas u otro con un retardo espacial de la variable endógena.⁴⁵

Por último, y de forma similar a lo ocurrido en el punto anterior, en las estrategias anteriores no se ha incluido en ningún momento el test de Factores Comunes COMFAC (Anselin, 1988a), válido para contrastar la consistencia del modelo con perturbaciones autorregresivas. En concreto, y partiendo de la base de que un modelo con perturbaciones espaciales correlacionadas puede ser reespecificado como:

$$y = \lambda Wy + X\beta - \lambda WX\beta + \mu \quad (5.41)$$

o lo que es lo mismo

$$y = \lambda Wy + X\beta - WX\gamma + \mu \quad (5.42)$$

el test COMFAC contrastará la hipótesis nula $H_0: \lambda\beta=\gamma$. En caso de que la hipótesis nula sea rechazada, el modelo definido en (5.29), que incorpora un esquema espacial autorregresivo en el término de perturbación, será inconsistente. Teniendo ello en cuenta, el test COMFAC debería ser también computado durante el proceso de selección del modelo final.

5.4.9 Dependencia espacial en un panel de datos

Cada vez con más frecuencia, en los modelos regionales se recurre a la utilización de un panel de datos que permita suplir la escasez de información estadística presente a nivel temporal y/o territorial y obtener unas estimaciones más eficientes. Sin embargo, todos los contrastes de dependencia espacial analizados en los apartados anteriores fueron propuestos en el ámbito de datos de corte transversal. Este hecho ha llevado a que los contrastes de dependencia espacial en el contexto espacio-temporal sean una derivación *ad-hoc* de aquéllos desarrollados para muestras *cross-section*.

⁴⁵ Así los tests robustos serán útiles, en especial, en aquellas situaciones donde tanto el test LM-LAG como el LM-ERR sean altamente significativos. En este caso, si únicamente el test LM-LE (LM-EL) fuera significativo, el modelo correcto debería de ser aquél que introdujese un retardo de la variable endógena (estructura autorregresiva en el término de perturbación).

Así, por ejemplo, partiendo de un modelo de regresión simple,

$$y_{it} = \sum_{j=1}^k \beta_j x_{jit} + \mu_{it} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (5.43)$$

la hipótesis de dependencia espacial residual puede ser contrastada sin más que adaptar el estadístico LM-ERR definido en la expresión (5.35) al contexto espacio-temporal, dando lugar a la siguiente expresión:

$$LM - ERR = \frac{(NI)^2}{\text{tr}(\hat{W}'\hat{W} + \hat{W}^2)} \quad (5.44)$$

donde I es el estadístico I de Moran para un panel de datos, $\hat{W} = (I_T \otimes W)$ tiene una dimensión $((N*T)*(N*T))$, I_T es una matriz identidad de dimensión T , W una matriz de contactos estandarizada por filas de dimensión $N*N$, N el número total de observaciones *cross-section* y T el número total de períodos temporales.⁴⁶ En relación a la definición de la matriz \hat{W} , es importante destacar que en este caso únicamente se contempla la posibilidad de dependencia espacial contemporánea, de manera que la dependencia espacial entre diferentes momentos del tiempo es considerada nula. De igual forma el test LM-LAG podría ser adaptado al contexto espacio-temporal sustituyendo la matriz W de dimensión $(N*N)$ por la matriz \hat{W} .

En relación a los métodos de estimación y estrategias de selección de modelos, el procedimiento a seguir es idéntico al definido en los apartados anteriores, si bien ahora el vector de observaciones de las variables consideradas tendrá dimensión $(N*T)*1$, siendo preciso de nuevo sustituir la matriz W por la matriz \hat{W} .

Por último, cabe destacar que, en relación a la modelización espacio-temporal, la simple adaptación directa de los métodos de contrastación y estimación desde el contexto *cross-*

⁴⁶ En Martin y Oeppen (1975) y Hordijk y Nijkamp (1977) se pueden encontrar variantes espacio-temporales del contraste I de Moran, válidas para contrastar la existencia de dependencia espacial residual. Así, por ejemplo, la I de Moran para un panel de datos podría obtenerse como:

$$I = \frac{N}{S_0} \frac{e'(I_{TT} \otimes W)e}{e'e}$$
 No obstante, las propiedades distribucionales de dichos estadísticos son desconocidas, dificultando su aplicación.

section presenta la desventaja de que la naturaleza del panel de datos no es considerada. En este caso, la solución viene de la mano, por una parte, de los denominados modelos SUR (*Seemingly Unrelated Regression Equation*) y SUR espacial⁴⁷ y, por la otra, de los modelos de Componente del Error.⁴⁸ No obstante, dado que los citados modelos no serán utilizados en el presente capítulo, nos remitimos a Anselin (1988a) para un estudio detallado de los mismos.⁴⁹

5.5 Contrastación y estimación de las externalidades regionales en un modelo de crecimiento regional

Una vez descrito brevemente el instrumental básico existente en el ámbito de la Econometría Espacial que será utilizado en el presente apartado, seguidamente procederemos a contrastar la significación de lo que hemos definido como externalidades regionales. Para ello, en primer lugar, y tomando como base la función de producción con externalidades definida en el apartado 5.3.1, será especificado un modelo empírico a partir del cual será posible obtener una estimación de los rendimientos internos y externos de los factores acumulados dentro de la propia región así como de la intensidad de los *spillovers* tecnológicos. En este caso, el estudio se aplica al caso de las regiones españolas, para las cuales se dispone de información estadística relativa a los factores capital físico y humano.

⁴⁷ La idea original del modelo SUR aparece en Zellner (1962) y está basada en la especificación de un sistema de ecuaciones, definidas en el contexto espacio-temporal y dependientes entre sí a través de sus términos de perturbación. En concreto, en el modelo SUR (definido cuando $T > N$) la autocorrelación espacial surgirá como consecuencia de la correlación entre los términos de perturbación de cada ecuación del sistema. Por el contrario, en el modelo SUR espacial (definido cuando $T < N$), cada ecuación del sistema podrá incorporar una estructura de dependencia espacial en su término de perturbación (de igual forma, podrán incorporarse retardos espaciales de las variables sistemáticas).

⁴⁸ Los modelos de Componente del Error introducen los efectos espacio-temporales en el término de perturbación, introduciendo, en su especificación más general, una componente específica temporal (idéntica para todas las unidades espaciales), una componente específica espacial (idéntica para todas las observaciones temporales) y, por último, una componente que varía para cada unidad espacio-temporal. En este caso, será precisamente la presencia de una componente que permanece constante entre las observaciones espaciales la causante de la aparición de un esquema de autocorrelación espacial en el término de perturbación.

⁴⁹ Ver Fazekas *et al* (1994) para un estudio de la estimación máximo-verosímil en los modelos espacio-temporales y Aznar *et al* (1996) para una revisión crítica de los elementos de Econometría espacio-temporal.

5.5.1 Modelo empírico

El modelo empírico que será estimado posteriormente está basado en el modelo teórico definido en las expresiones (5.1) y (5.2). Siguiendo, entre otros, a Mankiw *et al* (1992), se ha considerado un concepto amplio de capital, incorporando como factores de producción al capital físico y humano. Concretamente, la función de producción de tipo Cobb-Douglas inicial es la siguiente:

$$y_{it} = A_{it} k_{it}^{\theta_k} h_{it}^{\theta_h} \quad (5.45)$$

donde k_{it} y h_{it} representan respectivamente el capital físico y humano por trabajador, siendo θ_i ($i=k,h$) la medida de los rendimientos internos a nivel de firma. Asimismo, y de forma similar al modelo teórico, se ha supuesto que el nivel tecnológico es parcialmente endógeno, incorporando tanto una externalidad tipo Romer-Lucas como una externalidad regional derivada de la existencia de interdependencia tecnológica. Concretamente,

$$A_{it} = \Delta_t k_{it}^{\delta_k} h_{it}^{\delta_h} A_{pit}^\gamma \quad (5.46)$$

donde nuevamente Δ_t refleja el nivel de progreso técnico exógeno y donde δ_i ($i=h,k$) mide los rendimientos externos dentro de la propia región derivados de la acumulación de capital físico y humano en cada región i . Sin embargo, y a diferencia del modelo teórico, hemos incorporado directamente el supuesto de difusión de ideas e innovaciones entre regiones vecinas, haciendo depender el nivel tecnológico de una región i de la productividad total de los factores de sus regiones vecinas (A_{pit}), siendo de nuevo γ el parámetro que refleja la intensidad de dicha interdependencia tecnológica.

No obstante, A_{pit} puede expresarse como:

$$A_{pit} = \frac{y_{pit}}{k_{pit}^{\theta_k} h_{pit}^{\theta_h}} \quad (5.47)$$

de manera que si sustituimos las expresiones (5.46) y (5.47) en (5.45) y log-linearizamos, tendremos que:

$$\ln y_{it} = \ln \Delta_t + (\theta_k + \delta_k) \ln k_{it} + (\theta_h + \delta_h) \ln h_{it} + \gamma (\ln y_{pit} - \theta_k \ln k_{pit} - \theta_h \ln h_{pit}) \quad (5.48)$$

donde $(\theta_k + \delta_k)$ y $(\theta_h + \delta_h)$ capturan los rendimientos totales (internos y externos) asociados a la acumulación de capital físico y humano dentro de la propia región.

A partir de la expresión (5.48), es preciso destacar dos aspectos importantes. Primero, se puede comprobar como, aun disponiendo únicamente de datos agregados a nivel regional, la especificación de la función de producción no lineal hará posible estimar tanto los rendimientos internos y externos del capital como el parámetro de difusión tecnológica.

En segundo lugar, cabe señalar que, con el objetivo de simplificar la notación, se han supuesto idénticos valores para los rendimientos internos y externos a escala para todas las regiones (consideramos que los parámetros θ_k y θ_h que aparecen en la expresión 5.45 coinciden con aquéllos en 5.47). De igual forma, se ha considerado un mismo valor de la intensidad de la interdependencia tecnológica para todas las regiones. Sin embargo, y especialmente en relación al parámetro γ , tal y como se comentó en el modelo teórico, sería posible que en función de las características de cada región i , su capacidad para adoptar y adaptar las innovaciones procedentes de regiones vecinas difiera del resto.

5.5.2. Aspectos econométricos relevantes

A partir de la expresión (5.48), tres aspectos relevantes deben de ser notados.

i) Datos de panel y efectos fijos

A nivel teórico se ha considerado una misma función de producción para todas las regiones. No obstante, cabría la posibilidad de que existiesen diferencias entre las

regiones, especialmente en el parámetro exógeno de la tecnología. Teniendo en cuenta este hecho, es posible reescribir el elemento $\ln \Delta_t$ como $\ln \Delta_{it}$ de la siguiente forma:

$$\ln \Delta_{it} = \ln(\Delta_{0i} e^{g(t)}) = \ln \Delta_{0i} + g(t) \quad (5.49)$$

de manera que $\ln \Delta_{0i}$ diferirá entre regiones, evitando de esta forma, como indica Islam (1995), el sesgo por omisión de variables relevantes (dada la probable correlación entre $\ln \Delta_0$ y las variables explicativas incluidas). Asimismo, la componente $g(t)$ representará el ratio de progreso técnico exógeno común entre todas las regiones.

Siguiendo a Mankiw *et al* (1992) y a Islam (1995), Δ_{0i} estaría reflejando diferencias iniciales no únicamente en la tecnología sino también en las condiciones institucionales, climáticas y de dotación de recursos. Dado que para el ejercicio empírico dispondremos de un panel de datos (datos regionales-temporales), el supuesto definido en (5.49) llevará a la aparición, en la función de producción definida en (5.48), de efectos no observables específicos regionales e invariantes en el tiempo. En este sentido, una primera posibilidad para la consideración explícita de dichos efectos no observables consistiría en la estimación de un modelo de efectos fijos individuales, el cual supone la inclusión de *dummies* regionales⁵⁰ que permitan recoger los citados factores específicos regionales. Una segunda posibilidad consistiría en la estimación de un modelo de efectos aleatorios, donde los efectos no observables se trasladarían al término de perturbación del modelo.

En este caso, hemos escogido *a priori* la primera opción apoyándonos en la posible inconsistencia que se obtendría en la estimación mínimo-cuadrática con el segundo método al estar probablemente correlacionados los efectos no observables con el resto de regresores de la ecuación.⁵¹

⁵⁰ Idéntico resultado sería obtenido al expresar todas las variables en desviaciones respecto a su correspondiente media regional, es decir,

$$\ln \tilde{y}_{it} = \ln y_{it} - \ln \bar{y}_i \quad \text{donde} \quad \ln \bar{y}_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \ln y_{it}$$

⁵¹ Ver Baltagi (1995), entre otros, para un análisis detallado de las técnicas para datos de panel.

Por último cabe destacar que si bien la componente $g(t)$ puede ser recogida mediante una tendencia temporal, es posible en su lugar introducir *dummies* temporales que permitan controlar la existencia de posibles shocks comunes para todas las regiones⁵² (es decir, controlar la existencia de comportamientos cíclicos). En este caso, la inclusión de ambos tipos de *dummies* (regionales y temporales), nos llevará a estimar un modelo de efectos fijos regionales y temporales.

ii) La Econometría Espacial como vía natural para el tratamiento de las externalidades regionales

El segundo punto que cabe destacar hace referencia a las similitudes existentes entre la expresión (5.48) y las especificaciones habitualmente encontradas en el seno de la Econometría Espacial y que ya fueron analizadas en el apartado 5.4.⁵³ Específicamente, la expresión (5.48) podría ser reespecificada como (incluyendo un término de error):

$$\ln y = \ln \Delta + (\theta_k + \delta_k) \ln k + (\theta_h + \delta_h) \ln h + \gamma (W \ln y - \theta_k W \ln k - \theta_h W \ln h) + u \quad (5.50)$$

donde los caracteres en negrita representan un vector $(N \times T) \times 1$ con información para cada región ($n=1, \dots, N$) y periodo temporal ($t=1, \dots, T$). $W \ln y$, $W \ln k$ y $W \ln h$ son respectivamente los retardos espaciales de la productividad laboral y del capital físico y humano por trabajador.

Respecto a la matriz W , tal y como se apuntó en el apartado 5.4.8, en presencia de un *pool* de datos, la matriz de contactos o de pesos espaciales será una matriz de dimensiones $(N \times T) \times (N \times T)$. En nuestro caso específico, imponemos el supuesto, de igual forma que en apartado 5.4.8, que no existe dependencia espacial entre diferentes

⁵² En algunas ocasiones es habitual utilizar la variable ratio de desempleo en lugar de *dummies* temporales para controlar los comportamientos cíclicos.

⁵³ Hasta el momento, algunos trabajos han aplicado el concepto de dependencia espacial en el ámbito socioeconómico. Entre ellos cabrían destacar los trabajos de Dubin (1992), Florax (1992), Case *et al* (1993), Holtz-Eakin (1994), LeSage (1995), Molho (1995), Bernat (1996), Aten (1996, 1997), Can y Megbolugbe (1997), Kelejian y Robinson (1997) o Moreno (1998). En el caso concreto del estudio del crecimiento, convergencia y externalidades regionales, han sido muy pocos los autores que de una forma u otra han aplicado técnicas de Econometría Espacial, destacando en este caso a Armstrong (1995), Seitz (1996) y Moreno y Trehan (1997).

momentos del tiempo sino únicamente contemporánea, de manera que W será una matriz diagonal por bloques como la siguiente:

$$W = \begin{pmatrix} C_1 & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & C_2 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & C_3 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & C_T \end{pmatrix} \quad (5.51)$$

donde O es una $(N*N)$ matriz de ceros y C_t ($t=1,2,\dots,T$) es una matriz $(N*N)$ de pesos, donde cada elemento $c_{ij,t}$ refleja la interacción entre dos regiones i y j en el período t .

Por otra parte, y como se mencionó en el apartado 5.4.3, la omisión de dichos retardos espaciales, en caso de ser significativos, llevaría a la presencia de unos residuos correlacionados espacialmente (dependencia espacial sustantiva).

No obstante, podría ocurrir que, aun cuando el supuesto aquí establecido de existencia de interdependencia tecnológica no fuese el correcto (no teniendo que incluir ninguno de los retardos espaciales definidos), podría aparecer un esquema de autocorrelación o de dependencia espacial en el término de error (autocorrelación espacial como *nuisance*). Ello podría ser debido a la existencia de dependencia espacial en alguna/s de la/s variable/s incluida/s en el mismo, de errores de medida o como consecuencia de una escasa correspondencia entre las fronteras administrativas y naturales de las unidades espaciales. En este segundo caso, la especificación correcta para la función de producción sería la siguiente:

$$\begin{aligned} \ln y &= \ln \Delta + (\theta_k + \delta_k) \ln k + (\theta_h + \delta_h) \ln h + e \\ e &= \lambda W e + u \\ u &\sim N(0, \sigma^2 I) \end{aligned} \quad (5.52)$$

donde la interdependencia entre las regiones estaría incorporada en la estructura autorregresiva del término de error, siendo λ el parámetro autorregresivo espacial que mediría la intensidad de dichas interdependencias.

iii) Estrategia econométrica a seguir

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, y con el objetivo de contrastar la significación de las externalidades regionales en la función de producción y seleccionar la especificación correcta de esta última,⁵⁴ seguiremos la idea general que subyace tras la estrategia de expansión espacial de variables SVE2⁵⁵ propuesta por Florax y Folmer (definida previamente en el apartado 5.4.8), adaptándola a nuestro caso particular. En concreto, se seguirán los pasos siguientes:

1º) En primer lugar se estimará la función de producción habitual, sin retardos ni de la variable endógena ni de las exógenas, mediante la técnica de datos de panel adecuada (*pool*, efectos fijos o aleatorios regionales y/o efectos temporales). La elección se hará en base a los resultados del test de Hausman y de un test de significación conjunta de las variables *dummies*.

2º) En segundo lugar, se computará para el modelo apropiado seleccionado en 1º) los contrastes de dependencia espacial residual y sustantiva definidos en el apartado 5.4.5.

Llegado este punto,

(i) si ninguno de los dos grupos de contrastes rechazan sus respectivas hipótesis nulas, asumiremos la no significación de las externalidades regionales y, por tanto, la función de producción habitual como modelo correcto.

⁵⁴ Una función de producción habitual sin externalidades, una función de producción con *spillovers* tecnológicos o una función de producción que incorpora interdependencias regionales pero únicamente en el término de error.

⁵⁵ En la medida en la que ésta segunda estrategia hace uso de una batería más amplia de contrastes de dependencia espacial y nos parece más adecuada teniendo en cuenta el procedimiento seguido para especificar el modelo empírico.

(ii) si únicamente los contrastes de autocorrelación espacial residual son significativos o bien, si ambos grupos de contrastes (residual y sustantiva) lo son, pero la probabilidad de los tests del primer grupo es marcadamente menor, el modelo correcto debería de incluir una estructura autorregresiva espacial en el término de perturbación (expresión 5.52) y ser estimado por ML-ERR.⁵⁶ En este caso, al no haber evidencia de dependencia espacial sustantiva, deberíamos de concluir en la ausencia de externalidades regionales en la función de producción (o, al menos, no en la forma específica en que han sido consideradas).

(iii) si únicamente los contrastes de autocorrelación espacial sustantiva fuesen significativos o si ambos grupos de contrastes (residual y sustantiva) lo fuese pero la probabilidad de los contrastes de dependencia espacial sustantiva fuese menor, habría evidencia a favor de la omisión de retardos espaciales de las variables sistemáticas. En este caso, y tomando como referencia el modelo empírico descrito en (5.50), se debería de incluir un retardo espacial tanto de la variable endógena ($Wlny$) como de las variables exógenas ($Wlnk$ y $Wlnh$), estimando el modelo por máxima verosimilitud (ML-LAG)⁵⁷. Finalmente, si el retardo de la variable endógena fuese significativo, si las variables exógenas retardadas también lo fueran y si, por último, no hubiera evidencia de autocorrelación espacial residual, se confirmaría que el modelo correcto coincide con aquél especificado en la expresión (5.48), el cual consideraría explícitamente la existencia de externalidades o *spillover* tecnológicos entre regiones vecinas.

En relación a la estrategia utilizada, se puede observar como existen algunos puntos que difieren de la estrategia teórica definida en el apartado 5.4.8, especialmente por lo que se refiere a la identificación previa de aquellas variables exógenas susceptibles de ser retardadas espacialmente y a la expansión sucesiva del modelo definitivo (incluyendo las citadas variables). En este sentido, el supuesto establecido en el modelo empírico de interdependencia tecnológica ha llevado a la necesidad de incorporar, desde un punto de

⁵⁶ Cabe recordar que la consistencia y validez del modelo con perturbaciones autorregresivas dependerá de si el test de factores comunes COMFAC es o no aceptado.

⁵⁷ Recordar que en presencia de una variable endógena, la estimación Mínimo-Cuadrática sería sesgada e inconsistente.

vista teórico, un retardo espacial tanto de la productividad laboral como de las variables capital físico y humano por trabajador. Por este motivo, se ha preferido incluir en el paso (iii) simultáneamente un retardo espacial tanto de la variable endógena como de las exógenas, en lugar de incorporar en un primer paso un retardo espacial de la variable endógena para posteriormente ir expandiendo el modelo con retardos espaciales de las variables exógenas. En cualquier caso, se introducen mecanismos específicos para controlar la necesidad de incorporar, por una parte, la variable endógena retardada y, por la otra, las variables exógenas retardadas.

5.5.3. Evidencia empírica

Una vez descrito el modelo empírico a estimar y tras analizar la estrategia econométrica a seguir para la selección del modelo final, procederemos a aplicar el estudio al caso concreto de las regiones españolas.⁵⁸

Concretamente, se han seleccionado las 17 Comunidades Autónomas para el período 1964-1991 (datos bianuales con la excepción de los años 1964 y 1967). Los datos han sido obtenidos de tres fuentes. Primero, las variables Valor Añadido Bruto en pesetas constantes y población empleada ha sido obtenidas de la publicación “Renta Nacional de España y su distribución provincial”, publicada por el Banco Bilbao-Vizcaya. El stock neto de capital físico privado medido en pesetas constantes ha sido obtenido de la Fundación BBV (1996). Por último, como *proxy* de la variable capital humano, ha sido utilizada la fracción de población ocupada con estudios medios o superiores suministrada por Bancaja. Dado que la primera fuente citada ofrece la información de forma bianual (excluyendo, como hemos comentado, los años 1964 y 1967), el número total de períodos que se encuentran disponibles es de 14. De esta forma, la función de producción será estimada para un panel de 17 regiones y 14 períodos temporales.⁵⁹

⁵⁸ La necesidad de disponer de información acerca de variables como capital físico y humano han hecho imposible replicar el ejercicio para el caso de las regiones europeas.

⁵⁹ Por tanto, la matriz W en la expresión (5.51) tendrá dimensión $(17*14)*(17*14)$.

Por lo que hace referencia a las variables retardadas espacialmente, se han considerado tres especificaciones diferentes para la matriz de contactos, asociadas con tres supuestos en relación a las vías de difusión tecnológica entre regiones:

- Difusión tecnológica entre regiones colindantes

En este caso, se ha asimilado el concepto de vecindad al de contigüidad, entendiendo que la interdependencia tecnológica únicamente se da de forma significativa entre regiones físicamente adyacentes. En concreto, los pesos de la matriz C_t en la expresión (5.51) han sido definidos como:

$$c_{ij,t} = \frac{p_{jt} S_{ij}}{\sum_{j=1}^N p_{jt} S_{ij}} \quad (5.53)$$

donde P_{jt} es la población empleada en la región j en el período t y S_{ij} es un factor de contigüidad de primer orden el cual tendrá valor 1 si las regiones i y j son adyacentes y 0 en caso contrario. Asimismo, como se puede observar, la matriz C_t está estandarizada (de manera que cada fila suma 1).

- Fricción espacial en la difusión de la tecnología

En este caso, de forma similar al anterior, se considera que la proximidad geográfica es un elemento importante a la hora de favorecer la difusión de ideas e innovaciones a través de las fronteras regionales. Sin embargo, y a diferencia del anterior, se permite la existencia de interdependencia tecnológica entre regiones no estrictamente adyacentes de manera que el factor S_{ij} será función de la inversa de la distancia al cuadrado que separa a cada par de regiones i y j . En este caso, la utilización de la distancia al cuadrado se inspira básicamente en los modelos de interacción espacial.

- El comercio como vía para la difusión tecnológica

En este caso concreto, y siguiendo las ideas de Grossman y Helpman (1991) y Coe y Helpman (1995), se ha supuesto que la tecnología está incorporada en los bienes que se intercambian. De esta forma, cabría esperar una mayor interdependencia tecnológica entre aquellas economías que mantuviesen una relación comercial mayor, especialmente en términos de bienes intermedios. En este caso, si bien hubiera sido idóneo disponer de datos relativos al comercio de bienes intermedios entre las regiones españolas para cada período analizado, esta información no está disponible. En su lugar, se ha debido recurrir a la información suministrada por la base de datos REGIO del EUROSTAT sobre el flujo de intercambios de bienes finales tanto por carretera como por ferrocarril entre las regiones españolas (datos relativos al total de toneladas intercambiadas). Una información homogénea de dichos flujos se encuentra disponible a partir del año 1988.⁶⁰ Teniendo ello en cuenta, el factor S_{ij} se ha definido como el porcentaje promedio (años 1988 a 1991) de bienes transportados desde la región j a la región i respecto al total de bienes transportados a la región i . En este sentido, se ha preferido considerar el porcentaje de importaciones (y no de exportaciones) en la medida en la que por medio de aquéllas cada región i podrá acceder a la tecnología incorporada en los bienes importados. Por otra parte, se ha preferido utilizar el promedio de importaciones para los cuatro años disponibles y no la información para un año en concreto, por ejemplo 1988, con el propósito de evitar considerar como estables posibles relaciones comerciales anómalas ocurridas en dicho año. En cualquier caso, al trasladar hacia el pasado los intercambios comerciales interregionales presentes, podemos estar sobrevalorando los flujos entre regiones alejadas en el espacio en los primeros años del período analizado, especialmente si tenemos en cuenta que, con anterioridad a 1975, la dotación de infraestructuras existentes llevaba a que la distancia fuese una importante barrera para el

⁶⁰ En este sentido, si bien es cierto que esta información existía con anterioridad a 1988, dicha información no sería homogénea con la existente para los últimos años, por lo que se decidió utilizar únicamente la información a partir de dicho año.

comercio interregional (ver Hernández Muñiz, 1998, como constatación de los efectos de la distancia en el nivel de transacciones comerciales).

Por último, es preciso destacar que los cálculos han sido obtenidos utilizando el programa Space-Stat versión 1.80 así como el programa GAUSS para PC.

i) Difusión tecnológica entre regiones colindantes

Los resultados obtenidos para la primera de las matrices de contactos especificadas aparecen resumidos en la tabla 5.1. Las tres primeras columnas recogen las estimaciones de la función de producción sin *spillovers* regionales, a diferencia de la columna 4 que sí incorpora dichas externalidades.

En concreto, en la columna 1 hemos estimado la función de producción habitual por mínimos cuadrados para el panel de datos, mientras que en las columnas 2 y 3 aparece la estimación de dicha ecuación incorporando, respectivamente, efectos fijos regionales y efectos fijos regionales y temporales.⁶¹ La estimación por efectos fijos se ha visto apoyada por el resultado obtenido para el test de Hausman, el cual claramente ha discriminado en favor del modelo de efectos fijos en lugar de aleatorios. Asimismo, el test basado en la Razón de Verosimilitud ha rechazado la hipótesis nula de no significación de los efectos fijos regionales y temporales.

⁶¹ Asimismo, en lugar de incluir efectos fijos temporales, se estimó la función de producción con una tendencia temporal, la cual no resultó significativa.

Tabla 5.1. Resultados del modelo empírico bajo el supuesto de difusión tecnológica entre regiones colindantes

	(1)	(2)	(3)	(4)
$\theta_k + \delta_k$	0.244 (0.038)	0.442 (0.033)	0.471 (0.042)	0.450 (0.0379)
$\theta_h + \delta_h$	0.498 (0.024)	0.346 (0.021)	0.195 (0.046)	0.205 (0.036)
γ				0.4800 (0.060)
θ_k				0.477 (0.111)
θ_h				0.044 (0.093)
<i>dummies</i> regionales	NO	SI	SI	SI
<i>dummies</i> temporales	NO	NO	SI	NO
Ln L	234.252	371.302	404.946	397.594
Test de Hausman			28.160 (p:0.000)	
Test de Razón de Verosimilitud ²		274.1(p:0.000)	67.28 (p:0.000)	
LM-ERR		31.938 (p:0.0000)	5.079 (p:0.024)	
LM-EL		10.652 (p:0.001)	0.059 (p:0.806)	
LM-LAG		30.939 (p:0.000)	6.820 (p:0.009)	
LM-LE		9.653 (p:0.001)	1.801 (p:0.179)	
LM-LAG				40.490 (p:0.000)
LR-ERR ³				0.524 (p:0.469)

1) Test de Razón de Verosimilitud para contrastar la significación de los efectos fijos regionales en la columna 2 y de los efectos fijos temporales en la columna 3; 2) La desviación estándar de los parámetros aparece entre paréntesis. (p:) indica el valor de la probabilidad de los tests; 3) Test LR-ERR, basado en la Razón de Verosimilitud, para la contrastación de la significación de un esquema de autocorrelación espacial en el término de perturbación.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, tomamos la columna 3 como la estimación correcta. Como se puede observar, el rendimiento total dentro de la propia región del capital físico ($\theta_k + \delta_k$) es de 0.47, mientras que el valor para el caso del capital humano es de 0.19, siendo ambos altamente significativos (estos resultados son similares a los obtenidos por otros trabajos a nivel español como Mas *et al.*, 1994b; de la Fuente, 1996a y 1996b). No obstante, cabe notar que a partir de la estimación obtenida no es posible separar el valor de los rendimientos externos e internos dentro de la propia región.

Llegado a este punto, y con el propósito de contrastar la presencia de autocorrelación espacial (sustantiva y residual como *nuisance*) en la función estimada, hemos computado los dos grupos de contrastes basados en el principio de máxima verosimilitud comentados en el apartado 5.4.5. (paso 2º definido en la estrategia a seguir). Para el caso concreto de la especificación sin efectos temporales (columna 2), todos los tests rechazan sus respectivas hipótesis nulas.⁶² Sin embargo, cuando los efectos temporales son incluidos (columna 3), los resultados derivados de ambos grupos de contrastes no son concluyentes. Así, si bien en la columna 3 el test LM-ERR y especialmente el test LM-LAG evidencian una fuerte especificación errónea en la función estimada debido a la omisión de un esquema de dependencia espacial, los tests robustos (LM-LE y LM-EL) no son significativos (este hecho se hace marcadamente evidente en el caso del test LM-EL).⁶³

En cualquier caso y dada la evidencia mixta obtenida, hemos procedido a incorporar un esquema de dependencia espacial en la ecuación estimada. Concretamente, dada la relativa menor probabilidad del contraste LM-LAG y siguiendo con la estrategia econométrica definida en el apartado 5.5.2, se ha procedido a incorporar un retardo espacial tanto de la variable endógena como de las variables exógenas. En este caso, y dada la presencia en la ecuación a estimar de un retardo espacial de la productividad laboral, el método de estimación máximo-verosímil es el apropiado. No obstante, dado

⁶² Si bien en algunos casos la hipótesis de normalidad del término de perturbación fue rechazada, un estudio de los residuos mostró como la citada hipótesis era rechazada básicamente como consecuencia del notable apuntamiento detectado en la distribución de dichos residuos. No obstante, en ningún caso se detectó la existencia de bimodalidad.

⁶³ Una posible explicación a este resultado se encontraría en las propiedades asintóticas de este tipo de contrastes.

que tras la expresión (5.50) se esconde una relación no lineal entre los parámetros estimados, se ha procedido a estimar por máxima-verosimilitud la función de producción con externalidades regionales pero incorporando las citadas no linealidades (ver anexo 5.B).⁶⁴ De esta forma, será posible obtener una estimación de los rendimientos internos y externos dentro de la propia región asociados con el capital físico y humano así como una estimación del parámetro γ y de la interdependencia tecnológica.

En la columna 4 aparecen los resultados obtenidos de la estimación máximo-verosímil no lineal. En este sentido, presentamos únicamente los resultados con efectos fijos regionales, al no ser los efectos temporales significativos en la estimación máximo-verosímil (a pesar de su significación en la columna 3). Una posible explicación a este hecho podría estar vinculada a la inclusión del retardo espacial de la variable endógena. Así, la productividad total de las regiones vecinas podría estar recogiendo parte del comportamiento considerado por las *dummies* temporales, concretamente, una componente cíclica común entre regiones vecinas. De esta forma, la estimación del parámetro de la variable endógena retardada podría estar recogiendo tanto la externalidad tecnológica como una externalidad de demanda en la línea de lo definido por Bartelsman *et al* (1994).

Como se puede observar en la columna 4, para el caso del capital físico, se ha obtenido un valor estimado de los rendimientos totales dentro de la región ($\theta_k + \delta_k$) igual a 0.45, mientras que el parámetro asociado con los rendimientos internos, θ_k , ha sido de 0.48 (este resultado estaría alertándonos acerca de una posible no significación de δ_k). Respecto al capital humano, los rendimientos totales ($\theta_h + \delta_h$) alcanzan un valor igual a 0.20, siendo θ_h igual a 0.044 (aunque no sería significativo).⁶⁵ Por tanto, y tras dichos resultados, se puede concluir que el rendimiento externo estimado dentro de la región asociado a la acumulación del capital humano es significativo, mientras que menos del

⁶⁴ En este caso, hemos procedido a programar dicha estimación máximo-verosímil no lineal mediante el programa GAUSS al no estar disponible dicha opción en el programa Space-Stat.

⁶⁵ La no significación del parámetro θ_h podría ser consecuencia de la existencia de una elevada variabilidad (regional y temporal) de la variable capital humano así como de la presencia de multicolinealidad.

25% del efecto total de la acumulación de capital humano es debido a rendimientos internos. De esta forma, cuanto mayor sea el stock acumulado de capital humano en una economía, mayor será el efecto total de nuevas inversiones en dicho factor.

Esta conclusión está en la línea de la tesis defendida por Lucas (1988), si bien contradice el resultado alcanzado por Ciccone (1997) para una muestra de países,⁶⁶ el cual no obtiene evidencia a favor de un efecto externo derivado de la acumulación de capital humano. Este resultado podría verse explicado, entre otros posibles factores, tanto por las unidades territoriales de menor tamaño analizadas en nuestro caso (regiones *versus* países), hecho que podría contribuir a exacerbar las externalidades del capital humano, como por la evolución de este factor en la economía española en las últimas décadas. En relación a este último aspecto, cabe destacar que, durante el período analizado, las regiones españolas han pasado de tener un 10 % de población ocupada con estudios medios y superiores a un porcentaje superior al 50% (ver Mas *et al*, 1995a).

En relación al parámetro de interdependencia tecnológica, se ha obtenido un valor estimado significativo y positivo (0.48). Ello supone que un incremento de un 10% en el nivel de productividad total de los factores de las regiones vecinas incrementaría el nivel tecnológico de una región concreta en un 5% aproximadamente. Este resultado, ligeramente inferior al valor de 0.58 obtenido por Ciccone⁶⁷ (1997) para la muestra de países antes citada, estaría apoyando el supuesto establecido al inicio de la existencia de *spillovers* tecnológicos relevantes entre regiones vecinas. Por último, cabe destacar que la significación del parámetro y se ve reforzada además por el resultado del test LR-LAG, el cual constata la correcta inclusión de un retardo espacial de la productividad laboral en la estimación efectuada. Asimismo, cabe decir que la consideración de la interdependencia tecnológica (que nos lleva a incluir tanto un retardo espacial de la variable endógena como de las exógenas) acaba por eliminar por completo la

⁶⁶ En este caso, Ciccone utiliza la misma muestra de 98 países que la utilizada por Mankiw *et al* (1992).

⁶⁷ En este sentido, ambos resultados no serían estrictamente comparables en la medida que Ciccone estima su modelo por MCO (no lineal) mientras que, en nuestro caso, utilizamos una estimación MV (consistente con la existencia de un retardo espacial de la variable endógena).

autocorrelación espacial en los residuos de la regresión, como lo prueba la no significación del test LR-ERR.

A modo de resumen, dos son las conclusiones derivadas de la estimación realizada del modelo empírico. Primero, la existencia de rendimientos externos significativos dentro de la propia región asociados al capital humano, los cuales se revelan incluso como más importantes que los rendimientos internos. Y, segundo, la relevancia de los *spillovers* tecnológicos presentes entre las regiones españolas vecinas.

No obstante, en relación a la primera conclusión mencionada y con el propósito de contrastar específicamente la significación de los efectos externos dentro de la propia región tanto del capital físico como humano, hemos procedido a estimar nuevamente la ecuación (5.50) pero imponiendo sucesivas restricciones en relación al valor de los parámetros δ_k y δ_h . La tabla 5.2 recoge los resultados obtenidos.

Tabla 5.2. Contratación de la significación de los efectos externos dentro de la propia región

	(1) Sin restricciones	(2) Restricción: $\delta_k=0$	(3) Restricción: $\delta_h=0$	(4) Restricciones: $\delta_k=\delta_h=0$
$\theta_k+\delta_k$	0.450 (0.038)	-	0.424 (0.037)	-
$\theta_h+\delta_h$	0.205 (0.037)	0.208 (0.036)	-	-
γ	0.48 (0.061)	0.48 (0.049)	0.50 (0.051)	0.440 (0.024)
θ_k	0.477 (0.111)	0.445 (0.036)	-0.259 (0.032)	0.455 (0.037)
θ_h	0.044 (0.093)	0.063 (0.092)	-0.279 (0.108)	0.334 (0.033)
Ln L	397.595	397.534	393.765	387.5696

Como se puede observar, en la columna 2 (3) se muestran los resultados tras imponer la restricción de que no hay efectos externos dentro de la propia región asociados al capital físico (humano), mientras que en la columna 4 se impone la restricción de que no existen efectos externos en ninguno de los dos factores de capital. Tras computar los

correspondientes contrastes de Razón de Verosimilitud,⁶⁸ únicamente se acepta la restricción asociada al capital físico, corroborándose por tanto el resultado obtenido en la tabla 5.1 sobre la no significación de efectos externos dentro de la propia región en capital físico, al contrario de lo ocurrido con el capital humano. Por último, resaltar que los resultados en la columna 2 no difieren en exceso de los mostrados en la columna 1, si bien, tras imponer la restricción mencionada, el efecto interno dentro de la propia región asociado al capital humano incrementa ligeramente (hasta 0.063).

ii) Fricción espacial en la difusión de la tecnología

El análisis anterior ha sido replicado para la segunda de las matrices de contactos especificada. Los resultados aparecen resumidos en la tabla 5.3 (no se incluye la estimación con el panel de datos sin efectos fijos al coincidir exactamente con la aparecida en la columna 1 de la tabla 5.1).

Como se puede observar en la columna 1, de forma similar a lo ocurrido con la matriz de contactos basada en el criterio de contigüidad física, todos los contrastes de dependencia espacial rechazan sus respectivas hipótesis nulas, mostrando la existencia de una especificación errónea en la función de producción inicial sin interdependencias regionales. Sin embargo, y a diferencia de lo ocurrido en el caso anterior, cuando se introducen *dummies* temporales (columna 2), ninguno de los tests es significativo. Tras este resultado, una posible opción sería seleccionar esta última estimación como la correcta, parando el proceso en este momento. Sin embargo, hemos considerado necesario proseguir el estudio y estimar por máxima-verosimilitud no lineal la expresión (5.50), incluyendo únicamente *dummies* regionales. Este paso se encuentra justificado, a nuestro entender, por dos motivos. Primero, porque los contrastes de dependencia espacial son altamente significativos cuando únicamente se incluyen *dummies* regionales. En segundo lugar, es preciso recordar que las *dummies* temporales estarían recogiendo comportamientos cíclicos comunes entre todas las regiones. En este caso, y

⁶⁸ El valor del contraste de Razón de Verosimilitud es de 0.122 para el caso de la restricción asociada al capital físico (comparando columnas 1 y 2) y 19.92 cuando se imponen ambas restricciones (columnas 2 y 4).

teniendo en cuenta que ahora ninguno de los elementos de la matriz de distancias es igual a cero,⁶⁹ la consideración de dichas *dummies* ya estaría recogiendo cualquier interdependencia contemporánea que se produjese entre las regiones, haciendo no significativo cualquier esquema de dependencia espacial sustantiva especificado.

Tabla 5.3. Resultados del modelo empírico bajo el supuesto de matriz de contactos inversa de distancias.

	(1)	(2)	(3)
$\theta_k + \delta_k$	0.442 (0.033)	0.471 (0.042)	0.467 (0.038)
$\theta_h + \delta_h$	0.346 (0.021)	0.195 (0.046)	0.202 (0.047)
γ			0.410 (0.087)
θ_k			0.547 (0.150)
θ_h			-0.038 (0.148)
<i>dummies</i> regionales	SI	SI	SI
<i>dummies</i> temporales	NO	SI	NO
Ln L	371.302	404.946	386.455
LM-err	26.157 (p:0.000)	1.044 (p:0.306)	
LM-EL	13.437 (p:0.000)	0.345 (p:0.556)	
LM-LAG	18.532 (p:0.000)	0.699 (p:0.403)	
LM-LE	5.811 (p:0.0159)	0.000 (p:0.198)	
LM-LAG			19.682 (p:0.000)
LR-ERR			1.879 (p:0.1703)

Sin embargo, las citadas *dummies* temporales tan sólo estarían recogiendo comportamientos comunes sin explicar el origen de los mismos (o al menos parte de él). Por el contrario, la inclusión de un esquema de dependencia espacial sustantiva nos estaría explicando al menos en parte el origen de dicho comportamiento similar.

La columna (3) recoge los resultados de la estimación máximo-verosímil no lineal de la expresión (5.50) con efectos fijos regionales. En este sentido, no incluimos la

⁶⁹ Salvo los elementos de la diagonal principal.

estimación que considera efectos regionales y temporales al no resultar éstos últimos significativos. Como se puede observar, el retardo espacial de la variable endógena es altamente significativo, resultado que se ve apoyado por el contraste LM-LAG. Asimismo, el contraste LR-ERR muestra como la inclusión de los retardos espaciales elimina completamente la autocorrelación espacial residual detectada en la columna 1.

Respecto al valor estimado de los parámetros del modelo, el valor de los rendimientos totales dentro de la región asociados al capital físico y humano son muy similares a los obtenidos en la tabla 5.1 (0.47 para el capital físico y 0.20 para el capital humano). Por lo que se refiere al valor de θ_k , nuevamente no parece detectarse un efecto externo dentro de la región del capital físico, alcanzando θ_k un valor de 0.54. En cambio, el rendimiento interno del capital humano tendría un signo negativo contrario al esperado (si bien no sería significativo).

En relación al parámetro γ , éste alcanza un valor igual a 0.41, indicando que un incremento de un 10% en el nivel de productividad total de los factores del resto de regiones incrementaría el nivel tecnológico de una región i concreta en un 4% aproximadamente. Este resultado es inferior al valor obtenido en la tabla 5.1, de lo que podría derivarse que la difusión tecnológica es ligeramente más intensa entre regiones colindantes.

Por último, y en relación a la contrastación de la significación de los rendimientos externos del capital, se ha reproducido la tabla 5.2 para el caso de la matriz de distancias. De forma similar a lo ocurrido bajo el supuesto de una matriz de contigüidad de primer orden, únicamente se acepta la restricción de no significación del efecto externo asociado al capital físico.⁷⁰ Como se puede observar en la columna 2, tras imponer la restricción de que $\delta_k=0$, los rendimientos internos del capital físico alcanzan un valor de 0.46, mientras que en el caso del capital humano, dicho valor es de 0.026, teniendo ya el signo esperado (aunque seguiría sin ser significativo). Nuevamente, el

⁷⁰ El valor del contraste de Razón de Verosimilitud es de 0.61 para el caso de la restricción asociada al capital físico (comparando el modelo definido en la columnas 1 y 2) y de 11.148 (columnas 2 y 4).

rendimiento interno del capital humano explicaría menos del 25% del rendimiento total de dicho factor dentro de la región.

Tabla 5.4. Contratación de la significación de los efectos externos dentro de la propia región

	(1)	(2)	(3)	(4)
	Sin restricciones	Restricción: $\delta_k=0$	Restricción: $\delta_h=0$	Restricciones: $\delta_k=\delta_h=0$
$\theta_k+\delta_k$	0.467 (0.038)	-	0.435 (0.037)	-
$\theta_h+\delta_h$	0.202 (0.047)	0.211 (0.046)	-	-
γ	0.41 (0.088)	0.41 (0.064)	0.44 (0.070)	0.41 (0.032)
θ_k	0.547 (0.151)	0.456 (0.036)	-0.287 (0.039)	0.446 (0.036)
θ_h	-0.038 (0.148)	0.026 (0.145)	-0.307 (0.149)	0.342 (0.039)
Ln L	386.455	386.150	382.943	380.576

iii) El comercio como vía para la difusión tecnológica

Por último, hemos replicado el análisis para la tercera matriz de contactos, definida a partir de la información sobre transacciones comerciales entre las regiones españolas. La tabla 5.5 recoge los resultados obtenidos.

Como se puede observar, de forma similar a lo ocurrido con la matriz inversa de distancias, si bien cuando se incorporan únicamente *dummies* regionales, todos los contrastes de dependencia espacial rechazan sus respectivas hipótesis nulas, el resultado es el contrario cuando se añaden también *dummies* temporales. No obstante, y a diferencia del caso anterior, el contraste LM-LE, robusto ante una posible especificación errónea local (como consecuencia, por ejemplo, de la omisión de autocorrelación espacial residual), sí sería significativo al 10%. En este sentido, manteniendo el argumento expuesto anteriormente, y apoyados por el resultado del contraste LM-LE, hemos procedido a estimar la ecuación (5.50) por máxima-verosimilitud no lineal, incluyendo únicamente *dummies* regionales. La columna (3) recoge los resultados

obtenidos. Nuevamente, no incluimos la estimación que considera efectos regionales y temporales al no resultar éstos últimos significativos. Como se puede observar, el retardo espacial de la variable endógena es altamente significativo, resultado que se ve apoyado por el contraste LM-LAG.

Tabla 5-5. Resultados del modelo empírico bajo el supuesto de matriz de transacciones comerciales.

	(1)	(2)	(3)
$\theta_k + \delta_k$	0.442 (0.033)	0.471 (0.042)	0.456 (0.038)
$\theta_h + \delta_h$	0.346 (0.021)	0.195 (0.046)	0.213 (0.036)
γ			0.530 (0.071)
θ_k			0.444 (0.117)
θ_h			0.099 (0.092)
<i>dummies regionales</i>	SI	SI	SI
<i>dummies temporales</i>	NO	SI	NO
Ln L	371.302	404.946	396.111
LM-err	41.393 (p:0.000)	1.709 (p:0.191)	
LM-EL	20.631 (p:0.000)	0.629 (p:0.427)	
LM-LAG	30.903 (p:0.000)	0.629 (p:0.427)	
LM-LE	10.140 (p:0.001)	3.476 (p:0.062)	
LM-LAG			37.128 (p:0.000)
LR-ERR			4.594 (p:0.032)

Respecto al valor estimado de los parámetros del modelo, éstos se encuentran muy cercanos a los obtenidos para el caso de una matriz de contigüidad de primer orden. En este caso, únicamente cabría destacar dos diferencias. Primero, se observa un valor del parámetro de rendimientos internos del capital humano ligeramente superior al obtenido en los casos previos (aunque no significativo), explicando por tanto cerca del 50% de los rendimientos totales del capital humano dentro de la región (si bien tampoco sería significativo). En segundo lugar, para la matriz de contactos especificada, el parámetro γ alcanza un valor igual a 0.53, superior al obtenido para los dos anteriores supuestos, especialmente si lo comparamos con el valor de 0.41 asociado con la matriz inversa de

distancias. Este resultado estaría mostrando como la interdependencia tecnológica sería especialmente relevante entre regiones que mantienen estrechos lazos comerciales. Por último, cabe destacar que el contraste LR-ERR sigue siendo significativo al 5%, reflejando como, aun a pesar de la inclusión de un esquema de dependencia espacial sustantiva, los residuos continúan correlacionados. La existencia de errores de medida o de la omisión de alguna variable correlacionada espacialmente podría explicar este resultado.⁷¹

Finalmente, se ha procedido a contrastar la significación de los efectos externos del capital físico y humano. Los resultados aparecen resumidos en la tabla 5.6. Nuevamente, el efecto externo asociado al capital físico no es significativo. Por el contrario, cuando se comparan las estimaciones de las columnas 2 y 4, se rechaza la no significación del efecto externo del capital humano,⁷² reduciéndose ligeramente el valor asociado de los rendimientos internos del capital humano (columna 2).

Tabla 5.6. Contratación de la significación de los efectos externos dentro de la propia región

	(1) Sin restricciones	(2) Restricción: $\delta_k=0$	(3) Restricción: $\delta_h=0$	(4) Restricciones: $\delta_k=\delta_h=0$
$\theta_k+\delta_k$	0.456 (0.038)	-	0.443 (0.037)	-
$\theta_h+\delta_h$	0.213 (0.036)	0.211 (0.035)	-	-
γ	0.53 (0.071)	0.53 (0.055)	0.57 (0.058)	0.50 (0.024)
θ_k	0.444 (0.117)	0.458 (0.036)	-0.245 (0.032)	0.475 (0.037)
θ_h	0.099 (0.092)	0.091 (0.090)	-0.310 (0.115)	0.325 (0.033)
Ln L	396.112	396.101	394.262	387.157

⁷¹ Ante este resultado, una posibilidad pasaría por la estimación de un modelo SARMA, donde además de la estructura especificada en la expresión (5.50), se incorporase un esquema media móvil de primer orden en los residuos. No obstante, dado que la estimación máximo-verosímil de dicho modelo no podría ser obtenida mediante métodos analíticos (habiendo de recurrir a métodos numéricos), y considerando que el objetivo básico perseguido es el de contrastar la significación de las externalidades regionales definidas en el modelo empírico, se ha desestimado dicha posibilidad.

⁷² El valor del contraste de Razón de Verosimilitud es de 0.022 para el caso de la restricción asociada al capital físico (comparando el modelo definido en la columnas 1 y 2) y 17.88 para el caso del capital humano (columnas 2 y 4).